



# jamk

## **Biopohjaisiin materiaaleihin perustuvat väestönsuojat**

Anni Lähteenmäki

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2025

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

**Lähteenmäki Anni**

**Biopohjaisiin materiaaleihin perustuvat väestönsuojat**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. toukokuu 2025, 73 sivua.

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä tarkastellaan biopohjaisten materiaalien mahdollisuuksia väestönsuojissa. Ammuntakokeiden avulla tarkastellaan, kuinka puumateriaalit soveltuvat vaipparakenteiksi läpäisevyytensä perusteella. Työn taustalla on kasvava tarve kehittää ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja väestönsuojille. Epävakaa maailmantilanne myös muistuttaa väestönsuojien merkityksestä. Niidenkin osalta on löydettävä kestävämpiä ratkaisuja perinteisten teräsbetonisuojien rinnalle.

Työssä toteutettiin kokeellinen osuus ammuntakokeen muodossa. Ammuntakoe suoritettiin liimapuulle sekä monikerroslevylle. Tutkimusten päätavoitteena oli selvittää puumateriaalien soveltuvuutta väestönsuojiiin. Sekä vertailtiin biopohjaisten materiaalien ominaisuuksia perinteisiin rakennusmateriaaleihin. Biopohjaiset materiaalit täydentäisivät puusta valmistettua vaipparakennetta.

Tutkimus toteutettiin kahdessa osassa: kirjallisuuskatsauksena sekä kvalitatiivisena tutkimuksena. Kirjallisuuskatsauksessa selvitettiin biopohjaisten materiaalien ominaisuuksia verraten perinteisiin rakennusmateriaaleihin. Katsauksessa nostettiin esille tämän hetken vaatimuksia väestönsuojille. Ammuntakokeessa ammuttiin neljällä erilaisella aseella kahteen erilaiseen puumateriaaliin. Tuloksia verrataan toisiinsa.

Kirjallisuuskatsaus antoi lupaavia merkkejä siitä, että tuotteet ovat laadukkaita perinteisiin tuotteisiin verrattuna. Ammuntakokeiden osalta puumateriaalit vaativat vielä lisätutkimusta. Biopohjaiset materiaalit näyttivät iskukykyä ja ovat samalla tasolla tai korkeammalla laadukkuudessaan. Biopohjaisia sekä ympäristöystävällisiä materiaaleja löytyy jo paljon markkinoilta. Materiaaleja pitää vain uskaltaa ottaa osaksi rakentamista.

**Avainsanat (asiasanat)**

Biopohjainen, Väestönsuoja, Monikerroslevy, Liimapuu, kestävä kehitys ja Ammuntakoe

**Lähteenmäki Anni**

### **Civil defense shelters based on bio-based materials**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2025, 73 pages.

Degree Programme in Construction and Civil engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

This thesis examines the potential of bio-based materials in civil defense shelters. Through ballistics tests, the suitability of wood materials as protective wall structures is assessed based on their permeability. The background of the work lies in the growing need to develop more environmentally friendly alternatives for civil shelters. The unstable global situation also highlights the importance of such shelters, and there is a need to find more sustainable solutions alongside traditional reinforced concrete shelters.

An experimental component was carried out in the form of a ballistic test. The test was conducted on glued laminated timber and Cross laminated timber. The main objective of the study was to determine the suitability of wood materials for use in civil defense shelters. In addition, the properties of bio-based materials were compared to those of conventional construction materials. Bio-based materials could complement the wood-based protective wall structure.

The research was conducted in two parts: a literature review and a qualitative study. The literature review explored the properties of bio-based materials in comparison to traditional construction materials. It also highlighted current requirements for civil defense shelters. In the ballistic test, four different firearms were used to shoot at two different types of wood materials. The results were then compared.

The literature review provided promising indications that the products are of high quality when compared to conventional ones. However, the ballistics tests showed that wood materials still require further research. Bio-based materials demonstrated their impact resistance and were found to be on par with or even superior in quality to traditional options. Many environmentally friendly and bio-based materials are already available on the market. What remains is the willingness to integrate them into construction practices.

### **Keywords/tags (subjects)**

Bio-based, Civil shelters, Glued laminated timber, Cross Laminated Timber, Sustainable development, Shooting test

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Käsitteet</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>5</b>
2.1	Vähähiilinen rakentaminen .....	6
2.2	Biopohjaiset materiaalit osaksi väestönsuojia .....	6
2.3	Biopohjaisten materiaalien sopivuus osana väestönsuojia .....	7
2.4	Tutkimusmenetelmät.....	7
<b>3</b>	<b>Väestönsuoja</b> .....	<b>8</b>
3.1	Suojaluokat.....	8
3.2	CBRN-suurtuhoaseet .....	10
3.2.1	Kemialliset taisteluaineet .....	10
3.2.2	Biologiset taisteluaineet .....	10
3.2.3	Radioaktiiviset taisteluaineet ja ydinaseet .....	10
3.3	Väestönsuojan rakentamisvelvollisuudesta poikkeaminen .....	12
<b>4</b>	<b>Kestävä kehitys</b> .....	<b>13</b>
4.1	Edullista ja puhdasta energiaa .....	13
4.2	Kestävää teollisuutta, innovaatiota ja infrastruktuureja .....	13
4.3	Kestävät kaupungit ja yhteisöt.....	14
4.4	Vastuullista kuluttamista.....	15
4.5	Ilmastotekoja.....	16
<b>5</b>	<b>Biopohjaiset materiaalit</b> .....	<b>17</b>
5.1	Biopohjaisten materiaalien kilpailukyky .....	18
5.2	Liimapuu .....	19
5.3	Monikerroslevy (CLT) .....	20
5.4	Hirsi.....	21
<b>6</b>	<b>Biopohjaisten materiaalien vertailua</b> .....	<b>23</b>
6.1	Stora Enso.....	24
6.2	Diasen.....	25
6.2.1	Diathonite Acoustix+ .....	25
6.2.2	Diathonite Thermostep.047 .....	27
6.3	Agosti Nanotherm Srl .....	28
6.3.1	Nobilium ThermaPanel .....	29
6.4	Mayr Melnhof Holz.....	31
6.4.1	Puu-betonielementtiydistelmä.....	31

<b>7 Kohti biopohjaisia väestönsuojia</b> .....	<b>32</b>
7.1 Tarkoitus.....	32
7.2 Tavoitteet ja tutkimuskysymykset .....	33
<b>8 Tutkimuksen toteuttaminen</b> .....	<b>34</b>
8.1 Tutkimusmenetelmät.....	34
8.2 Aineiston keruu ja analysointi.....	34
8.2.1 Erilaisten näkökulmien keruuta.....	35
8.2.2 Biopohjaisten materiaalien analysointia .....	36
8.2.3 Ammuntakoe .....	36
<b>9 Tulokset</b> .....	<b>37</b>
9.1 Ammuntakoe.....	37
9.2 Liimapuu .....	40
9.2.1 Liimapuu – Puun syiden suuntaisesti.....	40
9.2.2 Liimapuu – Puun syitä vastaan .....	42
9.3 CLT .....	44
9.3.1 CLT – Puun syiden suuntaisesti.....	44
9.3.2 CLT – Puun syitä vastaan.....	46
9.4 Vertailu .....	48
9.4.1 Puun syitä vastaan .....	48
9.4.2 Puun syiden suuntaisesti .....	51
<b>10 Pohdinta</b> .....	<b>52</b>
10.1 Mahdollisia käyttökohteita .....	54
10.2 Tutkimuksen toteuttaminen ja havainnot .....	55
10.3 Jatkokehitys.....	57
10.3.1 Toimeksiantajalle .....	58
10.3.2 Yhteiskunnallisesti .....	58
<b>Lähteet</b> .....	<b>60</b>
<b>Liitteet</b> .....	<b>66</b>
Liite 1. Ammuntapöytäkirja.....	66
<b>Kuviot</b>	
Kuvio 1. Suojaluokat .....	9
Kuvio 2. Väestönsuojien suojaluokat .....	9
Kuvio 3. Suojavahvuudet pienikaliiperisia aseita vastaan .....	12
Kuvio 4. Rakennusmateriaalien valmistuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt .....	16

Kuvio 5. Liimapuu.....	19
Kuvio 6. Monikerroslevy .....	21
Kuvio 7. Massiivipyöröhirsi ja massiivihöylähirsi .....	22
Kuvio 8. Lamellihöylähirsi ja lamellipyöröhirsi.....	22
Kuvio 9. Painumaton hirsi .....	23
Kuvio 10. Inspiraatiota luonnosta .....	24
Kuvio 11. Ligniini .....	25
Kuvio 12. Diathonite Acoustix+ .....	26
Kuvio 13. Diathonite Thermostep.047 .....	27
Kuvio 14. Nobilium ThermaPanel .....	29
Kuvio 15. Puu-betonielementin asennus .....	32
Kuvio 16 Metsästyskiväärin ja kiväärin patruunat.....	37
Kuvio 17 Rynnäkkökiväärin ja pistoolin patruunat .....	37
Kuvio 18. Puumateriaalit valiina ammuntaa varten .....	38
Kuvio 19. Liimapuu 235x360x1000 .....	39
Kuvio 20. 7-lamellinen CLT 300x995x995 .....	39
Kuvio 21. 7-lamellinen CLT:n -sivuprofiili.....	40
Kuvio 22. Liimapuu - osumat puun syiden suuntaisesti.....	41
Kuvio 23. Osumat - Liimapuu, puun syitä vastaan.....	42
Kuvio 24. Osumat - CLT, puun syiden suuntaisesti .....	45
Kuvio 25. Osumat - CLT, puun syitä vastaan .....	47

## Taulukot

Taulukko 1. Materiaalien suojauskertomia säteilyä vastaan.....	11
Taulukko 2. Materiaalien vertailu - Weber vetonit vs. Diasen Diathonite Acoustix+.....	26
Taulukko 3. Materiaalien vertailu - Weber lämmöneristyslaasti vs. Diasen Thermostep.047... 28	
Taulukko 4. Materiaalien vertailu – Paroc Figra 170t vs. Nobilium ThermaPanel .....	30
Taulukko 5. Puu-betonielementtiyhdistelmä .....	31
Taulukko 6. Liimapuu – Läpäisyvyydet puun syiden suuntaisesti .....	41
Taulukko 7. Pylväsdiagrammi - Liimapuu.....	42
Taulukko 8. Liimapuu - Läpäisevyydet puun syitä vastaan .....	43
Taulukko 9. Pylväsdiagrammi – Liimapuu .....	44
Taulukko 10. CLT - Läpäisevyydet puun syiden suuntaisesti .....	45
Taulukko 11. Patruunan Läpäisyvyydet - CLT (II).....	46

Taulukko 12. CLT - Lämpäsyyvydet puun syitä vastaan.....	47
Taulukko 13. CLT - Lämpäsyydydet .....	48
Taulukko 14. Patruunan lämpäsyydydet - puun syitä vastaan.....	49
Taulukko 15. Yhteenvetotaulukko - Puun syitä vastaan.....	50
Taulukko 16. Patruunan lämpäsyydydet - puun syiden suuntaisesti.....	51
Taulukko 17. Yhteenvetotaulukko - puun syiden suuntaisesti .....	52

## 1 Käsitteet

**Biopohjainen materiaali:** Materiaali, joka on valmistettu uusiutuvista luonnonvaroista. Luonnon kiertokulun mukaisesti, eivät tuota jätettä. (Kestävät biopohjaiset materiaalit, 2025.)

**CBRN-suurtuhoaseet:** Joukkotuhoaseita, jotka jaetaan neljään kategoriaan. Kemialliset aseet, Biologiset aseet, Radiologiset aseet ja Ydinaseet. (Taistelijan opas, 2013.)

**CLT:** Monikerroslevy (Cross Laminated Timber) eli ristiinliimattu puu. Rakennusmateriaali, joka koostuu useista ristiin liimatuista puulevykerroksista. (Puuinfo, 2013.)

**Elinkaariajattelu:** Tarkoittaa tuotteen/materiaalin koko elinkaaren huomioon ottamista. Kattaa vaiheet raaka-aineiden hankinnasta kierrätykseen asti. (Sitra, 2017.)

**Kestävä kehitys:** Periaate, joka pyrkii turvaamaan nykyisten ja tulevien sukupolvien hyvinvoinnin. Jotta maapallo säilyy elinkelpoisena myös tuleville sukupolville. (Mitä on kestävä kehitys, 2023.)

**Liimapuu:** Puutuote, joka valmistetaan puulamelleista. Lamellit liimataan toisiinsa yhteen. (Liimapuu, 2020.)

**Vaipparakenne:** Rakennuksen ulkovaippa, joka erottaa sisätilan ulkoilmasta. Koostuu mm. seinistä, katosta, lattiaista, ovista. (Ympäristöministeriön ohje rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta, 2024.)

**Väestönsuoja:** Tila, joka tarjoaa suojaa sodan, säteilyvaaran tai muiden hätätilanteiden varalta. Sen tarkoitus on kestää paineaaltoja, sirpaleita, kemiallisia tai biologisia uhkia vastaan. (Väestönsuojelu, N.d.)

## 2 Johdanto

Työn toimeksiantajana toimii AttoVerde Oy. Yritys on perustettu 2021. AttoVerde Oy on erikoistunut kestävästä kehitystä edistäviin ja energiaa säästäviin ratkaisuihin. Yritys tarjoaa muun muassa suunnittelupalveluja esimerkiksi rakennesuunnitteluun ja materiaalivalintoihin. Yritys tekee yhteistyötä valikoitujen tuotevalmistajien esimerkiksi Diasenin ja Acosti Nanotherm Srl kanssa. Tavoitteena on luoda pitkäikäisiä, mukavia ja turvallisia rakennuksia. (AttoVerde Oy, 2024.)

## 2.1 Vähähiilinen rakentaminen

Väestönsuojat ovat keskeinen osa kriittistä infrastruktuuria. Venäjän hyökkäyssodan alettua turvallisuustilanne maailmalla on heikentynyt. Väestönsuojien merkitystä väestön suojaamiseksi ei voida laiminlyödä. Suojien merkitys korostuu hätätilanteissa, luonnonkatastrofeissa, aseellisissa konflikteissa ja muissa häiriötilanteissa. Perinteiset väestönsuojat rakennetaan teräbetonista sekä louhituista kalliosuojista. Nämä tuovat erinomaisen suojan ihmisille. Kestävä kehitys sekä ekologiset ratkaisut ovat yhä isommassa roolissa tulevaisuudessa. Voivatko biopohjaiset materiaalit tarjota vaihtoehtoista suojaa perinteisten suojien rinnalle?

Rakentaminen ja rakennukset tuottavat merkittävän osan Suomen kasvihuonepäästöistä. Noin kolmasosa päästöistä syntyy rakentamisesta. Tämä kiihdyttää ilmastonlämpenemistä jopa autoilua enemmän. Päästöjen vähentämistä on etsitty pääosin rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta. (Vähähiilinen rakentaminen, 2019.) Jotta ilmastonmuutos saadaan taitettua takaisin parempaan suuntaan, on keksittävä keinoja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Rakennuksen hiilijalanjälkeä voidaan pienentää monin eri keinoin. Energian kulutusta ja käyttöä voidaan vähentää rakennuksen jokaisessa vaiheessa. Rakennusmateriaalien valinnalla, materiaaleilla sekä kestävillä ratkaisuilla on merkitystä. (mt.) Kestävillä ratkaisuilla säästetään luontoa ja parannetaan ihmistenkin viihtyvyyttä.

## 2.2 Biopohjaiset materiaalit osaksi väestönsuojia

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää biopohjaisten materiaalien käyttökelpoisuutta väestönsuojien rakenteina. Työssä tarkastellaan, millaisia biopohjaisia materiaaleja voitaisiin käyttää väestönsuojissa. Opinnäytetyön aihe on rajattu vaipparakenteiden osalta puumateriaaleihin, joihin suoritetaan ammutakoe. Mitä etuja sekä haasteita biopohjaisiin materiaaleihin liittyy. Aihetta käsitellään tarkemmin luvussa seitsemän. Tuloksien pohjalta voidaan lähteä tutkimaan lisää ja suunnittelemaan kestävämmän kehityksen mukaisia väestönsuojia.

Hiilijalanjäljen vähentäminen rakentamisessa sekä uusiutuvien materiaalien käyttö kriittisissä infrastruktuureissa on vielä vaiheessa. Tavoitteena on, että työllä saadaan edistettyä biopohjaisten materiaalien kiinnostavuutta rakentamisessa. Ympäristöystävällisissä materiaaleissa on monia

etuja, joita ei edes kaikkia tiedetä ja ymmärretä. Työn avulla saadaan huomiota pois perinteisistä rakennusmateriaaleista ja tuodaan biopohjaiset materiaalit osaksi rakentamista.

Tavoitteena on herättää keskustelua biopohjaisten materiaaleista osana väestönsuojia. Keskustelu aiheesta on ollut tähän mennessä hyvin moniäänistä. Suurin osa on ollut hyvin skeptisiä aiheesta. Opinnäytetyöhön perehtymisen jälkeen toivotaan, että vastahakoisesti ajattelevat saavat uutta näkökulmaa biopohjaisten väestönsuojien mahdollisuuksiin.

### **2.3 Biopohjaisten materiaalien sopivuus osana väestönsuojia**

Opinnäytetyöllä pyritään tuomaan esiin mahdollisuuksia sekä haasteita, joita ilmenee biopohjaisten materiaalien käytössä väestönsuojissa. Ympäristöystävällisiä vaihtoehtoja on olemassa jo paljon. Työssä selvitetään niiden tämän hetken mahdollisuuksia väestönsuojan rakenteena. Biopohjaisten materiaalien mahdollisuuksia käydään tarkemmin läpi luvussa seitsemän. Biopohjaisia materiaaleja yhdistelemällä on tarkoitus saavuttaa väestönsuoja, joka on turvallinen suoja kriisitilanteissa. Väestönsuojien rakentamista ohjaavat erilaiset lainsäädännöt. Lakeihin perehtyminen on tärkeää, jotta väestönsuojat täyttävät sille määrätyt tehtävät.

Työssä ei suoriteta biopohjaisille materiaaleille fysikaalisia tai mekaanisia testejä. Materiaalien tuotekuvausten tietojen perusteella rakennetaan mahdollisimman tarkka kuva biopohjaisten materiaalien mahdollisuuksista väestönsuojissa. Erilaiset simulaatiot ja mallinnukset ovat mahdollisesti seuraava askel kohti biopohjaisia väestönsuojia.

### **2.4 Tutkimusmenetelmät**

Ammuntakoe suoritettiin liimapuulle sekä monikerroslevylle. Luvussa kahdeksan käydään tarkemmin läpi ammutakoeetta. Toimeksiantaja AttoVerde Oy ehdotti ammutakoeetta. Tämä on helppo toteuttaa, koska reserviläistaustan ansiosta ammutakoe saatiin suoritettua hyvinkin vaivattomasti. Testimateriaaliksi toimeksiantaja ehdotti monikerroslevyä. Vertailun vuoksi toiseksi materiaaliksi valittiin liimapuu. Materiaalit koostuvat useista kerroksista, jotka estävät patruunoiden läpäisevyyden yhtä helposti kuin yksi kerroksinen materiaali. Kokeen avulla selvitettiin kuinka syväle patruunat uppoavat puumateriaaleissa. Kokeet ammuttiin puun syyn suuntaisesti sekä syitä vasten. Ampumaetäisyytenä kivääreillä oli 50 metriä ja pistoolilla 25 metriä. Tuloksien avulla voidaan

päätellä ovatko puut mahdollisesti soveltuvia väestönsuojien materiaaleiksi. Muitakin kokeita tarvitaan kuten puristus-, veto, taivutuskokeita. Mahdollisuutta tehdä näin laajasti mekaanisia testejä ei ole. Fysikaaliset ja kemialliset testit ovat myös osa laajempaa tutkimusta, johon tässä työssä ei paneuduta.

Biopohjaisten materiaalien ominaisuuksien selvitys pohjautuu tietoihin, joita valmistajat ovat materiaaleistaan kirjanneet. Kirjallisuuskatsauksen avulla vertaillaan perinteisiä materiaaleja biopohjaisiin innovaatioihin. Tutkimuksia erilaisten materiaalien soveltuvuudesta keskenään ei voida toteuttaa. Työ avulla voidaan ottaa askeleet kohti seuraavaa tutkimusvaihetta.

### **3 Väestönsuoja**

Väestönsuojalla tarkoitetaan suojaa, joka on rakennettu antamaan suojaa voimakkaalta ionisoivalta säteilyltä, myrkyllisiltä aineilta, rakennussortumilta sekä asevaikutuksilta (RT 92-11173). Pelastuslaissa pykälän (379/2011, 74§) mukaan säädetään, että rakennuksen omistajan on huolehdittava väestönsuojan vaatimusten täyttymisestä. Asetuksen mukaan väestönsuojan koko, rakenne sekä sijainti on oltava säädetyn mukaiset. Sisäministeriö antaa erikseen omat tekniset vaatimuksensa asetuksella. (Valtioneuvoston asetus väestönsuojista 498/2011.)

#### **3.1 Suojaluokat**

Väestönsuojat jaetaan suojaluokkiin väestönsuojan koon perusteella (kuvio 1). Suojaluokat ovat S1, S2 ja kalliosuoja. Rakenteet mitoitetaan paineallostalta johtuville kuormituksille. S1-luokan teräsbetonisuojan on kestävä 100 kPa:n kuormitus. Tämä tarkoittaa 1 baarin kuormitusta. S2-luokan teräsbetonisuojan on kestävä 200 kPa:n kuormitus. Tämä vastaa 2 baarin kuormitusta. Samoin kalliosuojan on kestävä 300 kPa:n kuormitus, joka vastaa 3 baaria. (Valtioneuvoston asetus väestönsuojista 408/2011, 4§.)

Varsinainen suojatila enintään m<sup>2</sup>

135

900

4500

Suojaluokka

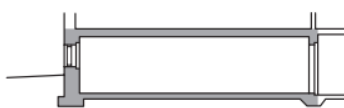
S1 teräsbetonisuojana

S2 teräsbetonisuojana

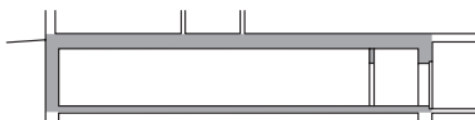
Kalliosuojana

Kuvio 1. Suojaluokat Valtioneuvoston asetus väestönsuojista 408/2011

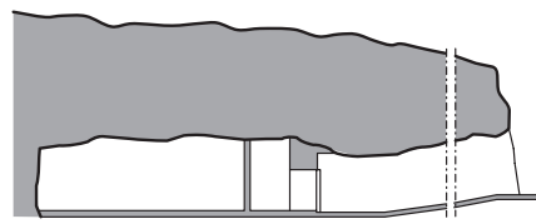
S1-luokan teräsbetonisen väestönsuojan ympärysseinien sekä katon tulee olla vähintään 300 millimetriä paksua teräsbetonia. Väestönsuojan lattian, kantavien seinien, pilareiden sekä kaksikerroksisen välipohjan tulee olla 150 millimetriä paksua teräsbetonia. S2-luokassa ympärysseinien ja katon on oltava vähintään 400 millimetriä paksua teräsbetonia. Lattian paksuus muilta kuin kalliota vasten olevilta kohdilta on oltava vähintään 800 mm paksua teräsbetonia. Kallioväestönsuojissa kalliotunnelissa olevien painekuormituksia vastaa ympärysseinien on oltava vähintään 800 mm paksua teräsbetonia. S2-luokan ja kallioväestönsuojan sisällä olevien teräsbetoniseinien, -pilareiden sekä -välipohjien on oltava vähintään 200 mm paksua teräsbetonia. Kuvio 2 havainnollistaa väestönsuojien suojaluokkien massiivisuudet. (Valtioneuvoston asetus väestönsuojista 408/2011, 5§.)



S1-luokka (100 kPa, 1 bar)



S2-luokka (200 kPa, 2 bar)



kalliosuoja (300 kPa, 3 bar)

Kuvio 2. Väestönsuojien suojaluokat

## **3.2 CBRN-suurtuhoaseet**

CBRN-suurtuhoaseet kuuluvat nykyaikaiseen sodankäyntiin. Suurtuhoaseet jaetaan neljään luokkaan. Lyhenne C (chemical) tarkoittaa kemiallisia taisteluaaineita, B biologisia taisteluaaineita, R radioaktiivisten aineiden käyttöä asetarkoituksessa ja N (nuclear) ydinaseita. Kansainväliset sopimukset rajoittavat suurthuhoaseiden käsittelyä, valmistusta sekä sotilaallista käyttöä. (Taistelijan opas, 2013.)

### **3.2.1 Kemialliset taisteluaaineet**

Kemiallisten taisteluaaineiden tarkoitus on aiheuttaa viholliselle kuolema, vammautuminen tai tilapäinen toimintakyvyn puuttuminen. Aine vaikuttaa hengityselimistöön ja silmien kautta tai ihon läpi imeytymällä. Kemialliset taisteluaaineet jaetaan ilma- ja maastokaasuihin. Ilmakaasujen vaikutus on muutamista minuuteista muutamiin tunteihin. Maastokaasut haihtuvat ilmasta paljon hitaammin kuin ilmakaasut. Kaasujen haihtuminen kestää vuorokausista jopa useisiin viikkoihin. (Taistelijan opas, 2013.)

### **3.2.2 Biologiset taisteluaaineet**

Biologisten taisteluaaineiden käytössä hyödynnetään bakteereita ja viruksia. Niiden tarkoituksena on aiheuttaa viholliselle sairastuminen tai kuolemaan asti johtava tartunta. Tartunta saadaan hengitys- tai ruuansulatuselimistön kautta. Tavoitteena on, että tartunnan saaneet levittävät tautia eteenpäin. (Taistelijan opas, 2013.)

### **3.2.3 Radioaktiiviset taisteluaaineet ja ydinaseet**

Radioaktiivisten aineiden käyttö asetarkoituksessa. Mahdollinen radioaktiivinen isku voi olla julkiuus- ja pelotearvoltaan suurempi kuin sotilaallinen merkitys. Ydinaseen räjähtäessä atomiytimestä vapautuu energiaa, joka vaikuttaa ympäristöön lämpö- ja valosäteilynä sekä paineaaltona, ionisaationa, värinä ja elektromagneettisena pulssina. (Taistelijan opas, 2013.)

Mitä raskaampaa ja paksumpaa suojaava aine on, sitä vähemmän se päästää säteilyä lävitseen. Suojauskertoimien avulla esitetään suojan kykyä vaimentaa säteilyä. Mitä suuremmasta luvusta on

kyse, sitä tehokkaammin säteily vaimentuu. Vähimmäistavoite suojauskertoimelle on 40, kun halutaan suojautua laskeumapölyltä. Tämä tarkoittaa sitä, että ihminen saa 1/40 osan säteilymäärästä, joka suojan ulkopuolella kohdistuu. Suojauskertoimia on esimerkiksi 10, 40 ja 100. (Tilapäisen väestönsuojan kunnostamisopas, 1997.)

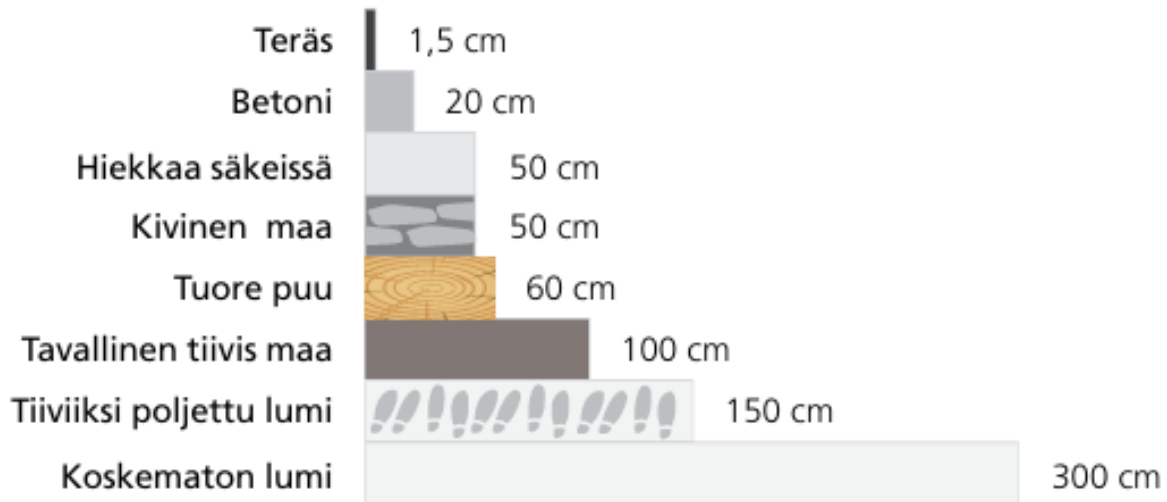
Taulukko 1. Materiaalien suojauskertomia säteilyä vastaan (Tilapäisen väestönsuojan kunnostamisopas, 1997.)

	Suojauskerroin 10	Suojauskerroin 40	Suojauskerroin 100
<b>Rakennusaine:</b>	<b>Tarvittava paksuus (cm)</b>		
<b>Valettu betoni</b>	20	30	40
<b>Täystiili</b>	26	45	60
<b>Tiivistetty maa</b>	30	50	65
<b>Betoniharkot</b>	35	55	75
<b>Kevytbetoni- ja kevytsorabetoniharkot</b>	70	120	170
<b>Puu</b>	85	150	200

Taulukosta 1. huomataan, että puun paksuuden on oltava huomattavasti paksumpi kuin betonilla säteilyä vastaan. Väestönsuojia suunniteltaessa on otettava huomioon säteilyn vaikutus. Mitä vähemmän säteilyä pääsee rakennukseen sisään, sitä parempi. (Tilapäisen väestönsuojan kunnostamisopas, 1997.) Ammuntatulosten perusteella voidaan havainnollistaa, että onko 200 cm riittävä aseilta suojaamiseen vaikka 1/100 säteilymäärä puolittuu. vähemmän säteilyä pääsee rakennukseen sisään, sitä parempi. (Tilapäisen väestönsuojan kunnostamisopas, 1997.) vähemmän säteilyä pääsee rakennukseen sisään, sitä parempi. (Tilapäisen väestönsuojan kunnostamisopas,

1997.) Ammuntatulosten perusteella voidaan havainnollistaa, että onko 200 cm riittävä aseilta suojaamiseen vaikka 1/100 säteily määrä puolittuu.

### Suojavahvuudet pienikaliiperisia aseita vastaan



Kuvio 3. Suojavahvuudet pienikaliiperisia aseita vastaan (Taistelijan opas, 2013.)

Taistelijan oppaan mukaan (kuvio 3) 60 cm tuoretta puuta riittää suojaamaan pienikaliiperisia aseita vastaan (Taistelijan opas, 2013). Taulukon 1 mukaan 60 cm on alle suojauskertoimen kymmenen. Säteily ei vaimennu tarpeeksi 60 cm paksulla puulla, vaikka pienikaliiperisia aseita vastaan suojausvahvuus on riittävä.

### 3.3 Väestönsuojan rakentamisvelvollisuudesta poikkeaminen

Väestönsuojan rakentamisen rakentamisvelvollisuuteen voidaan myöntää helpotuksia. Pelastuslain (754/2023, §75) mukaan, rakennusluvan myöntävä viranomais voi pelastusviranomaista kuultuaan yksittäistapauksissa myöntää vapautuksia väestönsuojan rakentamisvelvollisuudesta. Poikkeuksia voidaan myöntää väestönsuojan teknisiä vaatimuksia koskien tai koko- ja sijaintivaatimukseen liittyen. Näihin on oltava perustellut syyt, eikä poikkeuksien tekeminen saa heikentää suojautumismahdollisuuksia. (Pelastuslaki 754/2023, §75.)

## 4 Kestävä kehitys

Kestävällä kehityksellä tarkoitetaan sitä, että turvataan nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet. Kestävän kehityksen – Agenda 2030 tähtää muun muassa kestäväan kehitykseen, jossa otetaan ympäristö ja talous huomioon. Kantavana teemana ohjelmassa on, että kehtään ei jätetä kehityksessä jälkeen. (Kestävä kehitys – Agenda 2030, 2025.) Rakentamisen näkökulmasta voidaan ajatella teemaa siltä kannalta, että rakentamista viedään eteenpäin koneiden kuin rakennusmateriaalienkin osalta. Kestävään kehitykseen liittyy vahvasti ajatus, että planeetalla on rajansa. Ihmisten on sopeutettava toimintansa, jotta maapallon luonnonvarat ja kantokestävyys riittävät. (mt.) Rakentamisessa on otettava huomioon elinkaariajattelu jo tuotannosta lähtien. Ei voida vain ajatella, että säästetään energiaa rakennuksen valmistumisen jälkeen. YK:n kehtävän kehityksen tavoitteita on yhteensä 17. Seuraavana käsitellään tavoitteista viittä, jotka nivoutuvat hyvin rakentamisen ympärille (Kestävän kehityksen – Agenda 2030, N.d).

### 4.1 Edullista ja puhdasta energiaa

YK:n tavoitteen numero seitsemän tavoitteena on, että varmistetaan edullinen, luotettava, kehtävä ja uudenaikainen energia kaikille. (Tavoite 7, edullista ja puhdasta energiaa.) Rakentamisessa on otettava ympäristö huomioon. Kestävillä energiamuodoilla säästetään luontoa. Biopohjaisten materiaalien käyttö on yksi tapa vähentää ympäristön kuormitusta.

YK:n tavoitteena vuoteen 2030 mennessä on tarjota mahdollisuuksia tutkia ja kehittää puhtaan energian teknologiaa. Samoin edistää investointeja energiainfrastruktuuriin. Kehittämistyön avulla saadaan yhä ympäristöystävällisempiä ratkaisuja. Rakentamislaki määrittelee, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla. Luonnonvaroja ja energiaa on kulutettava säästeliäästi. Laskelmien avulla saadaan varmistus siitä, että vähimmäisvaatimukset täyttyvät. (Rakentamislaki 751/2023, 37§.)

### 4.2 Kestävää teollisuutta, innovaatiota ja infrastruktuureja

YK:n tavoitteen numero yhdeksän tavoitteena on, että rakennetaan kehtävää infrastruktuuria sekä edistetään kehtävää teollisuutta ja innovaatioita. (Kestävä teollisuutta, innovaatiota ja infrastruktuureja, 2025.) Biopohjaisten materiaalien ansiosta saadaan rakentamisesta yhtä kehtävämpää.

Tutkimukset osoittavat, että biopohjaisten rakennustuotteiden avulla saadaan suoraan sekä välillisesti vähennettyä kasvihuonepäästöjä. On kehitettävä uusia, vähähiilisiä, resurssitehokkaita rakennusmateriaaleja. (PaiBiRa – paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit, 2021.) Tämä vaatii kuitenkin sen, että biopohjaisia materiaaleja voidaan tuottaa isompia määriä esimerkiksi sarjatuotantona. Tämän seurauksena saadaan tuotteista yhä kilpailukykyisempiä tuotteita, perinteisten rakennusmateriaalien rinnalle.

YK:n tavoitteena on vuoteen 2030 mennessä uudistaa infrastruktuuria kestävän kehityksen mukaiseksi. On tehostettava resurssien käyttöä ja lisättävä puhtaiden teknologioiden ja tuotantoprosessien käyttöönottoa. (Alatavoite 9.4.) Innovaatiota tarvitaan myös lisää sekä yhteistyö eri toimijoiden välillä on eriarvoisen tärkeää. Rakentamisessa on kiinnitettävä yhä enemmän huomiota tuotantoprosesseihin. Rakennukset ovat jo hyvin energiatehokkaita, mutta se ei riitä ympäristön pelastamiseksi. Rakentamisen päästöjä on puntaroitava alkaen jo suunnittelupöydältä. Elinkaariajattelu on keskeisessä roolissa.

### **4.3 Kestävät kaupungit ja yhteisöt**

YK:n tavoitteen numero yksitoista tavoitteena on, että taataan turvalliset ja kestävät kaupungit sekä asuinyhdyskunnat. (Taata turvalliset ja kestävät kaupungit sekä asuinyhdyskunnat, 2025.) Turvallisilla ja kestäville kaupungeilla tarkoitetaan sitä, että kaikilla asukkailla on hyvät elinolosuhteet asua ja elää. Rakennusmateriaalien on oltava ympäristölle sekä ihmisille sopivia. Kestävän kehityksen näkökulmasta kestävät rakennukset ovat materiaaleiltaan laadukkaita ja kestävät aikaa. Biopohjaiset materiaalit ovat hyvä ratkaisu kohti kestävämpää asuinyhdyskuntaa. Mitä enemmän rakennetaan biopohjaisilla materiaaleilla, sitä enemmän ympäristö kiittää.

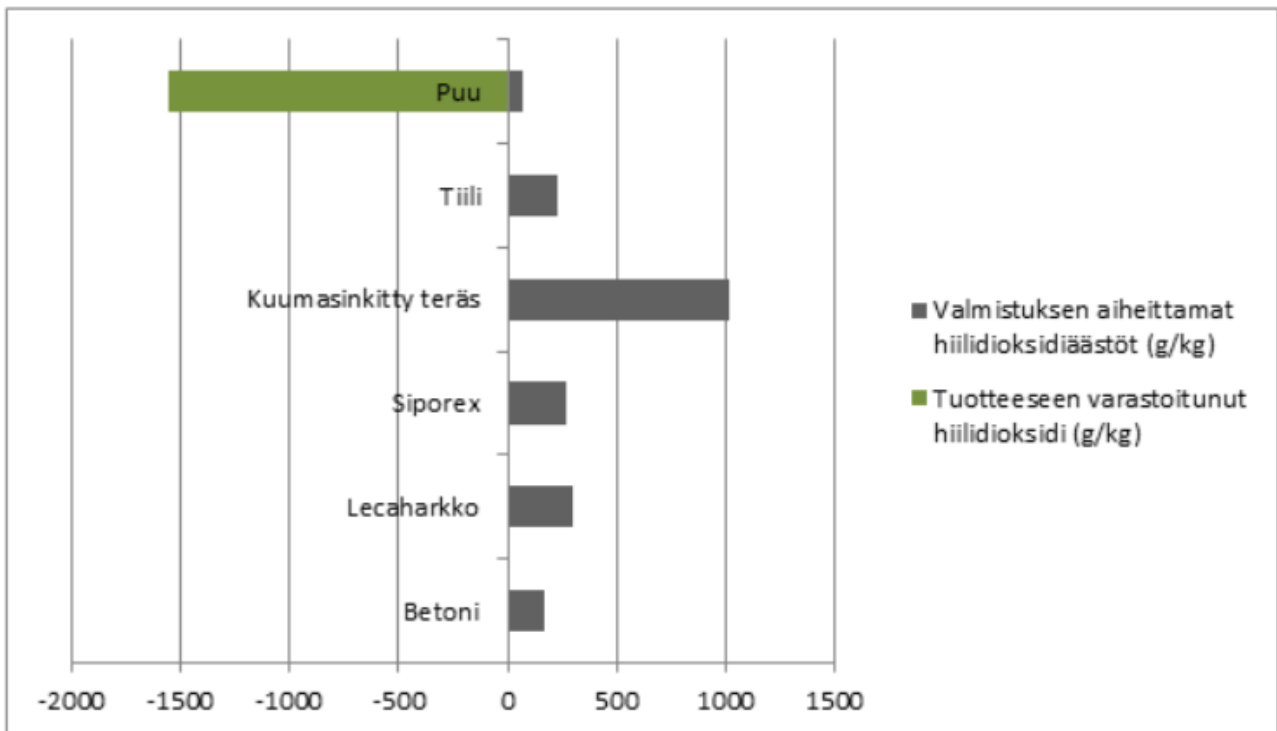
Rakentamislailalla (751/2023) säädetään rakennusten ja rakennuskohteiden suunnittelua, rakentamista sekä käyttöä. Rakentamisen ohjauksen lähtökohtiin kuuluu, että edistetään kiertotaloutta. Kiertotaloudella tarkoitetaan, että ratkaisujen avulla voidaan vahvistaa luontoa ja ratkaista ilmastokriisi (Kiertotalous, 2025). Lakien ansioista saadaan yhä ympäristöystävällisiä kaupunkeja sekä yhteisöjä.

#### 4.4 Vastuullista kuluttamista

YK:n tavoitteen numero kaksitoista tavoitteena on, että varmistetaan kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys. Nämä ovat keskeisiä tavoitteita, jotta saavutetaan haluttu lopputulos. Erilaiset kansainväliset ympäristösopimukset sitovat valtioita vähentämään ilman, veden sekä maaperän saastuttamista. (Tavoite 12: Varmistaa kulutus- ja tuotantotapojen kestävyys, 2025.) Valinnoilla ja toimintatavoilla saadaan vähennettyä ympäristövaikutuksia sekä tuetaan kestävästä kehitystä. Jokaista toimialaa tarvitaan, jotta saavutetaan kestävämpiä ratkaisuja.

Tarvitaan energiatehokkaita ratkaisuja. Vastuullisilla valinnoilla vähennetään rakennuksen energiankulutusta jo elinkaareen alkumetreiltä lähtien. Materiaalien on oltava laadukkaita ja kohteeseen sopivia. Ilmanvaihdon ja lämmön talteenotto huomioiden, voidaan säästää paljon lämmityskuluissa. Biopohjaisista väestönsuojista puhuttaessa on huomioitava väestönsuojaan liittyvät määräykset, joita Perustuslaki (379/2011) ja Valtioneuvoston asetus väestönsuojista (408, 2011) muun muassa ohjaavat. Väestönsuojien materiaalivalinnoilla voidaan saada yhä vastuullisempia suojia. Biopohjaiset materiaalit ovat viihtyisämpiä verrattuna betonipintoihin. Väestönsuojissa saatetaan joutua viettämään pitkiäkin aikoja. Vastuullisilla rakennusmateriaaleilla saadaan lisättyä ihmisten viihtyvyyttä väestönsuojissa.

Sementin valmistus on suurin ihmisen aiheuttama CO<sub>2</sub>-päästöjen lähde (Sementin valmistus on suuri ihmisen aiheuttamien CO<sub>2</sub>-päästöjen lähde, 2024). Kalkkikivestä irtoaa huomattavasti hiilidioksidia, kun kiveä poltetaan. (Sementti ja kasvihuonepäästöt, 2025.) Hiilidioksidipäästöjä kompensoi se, että noin puolet valmistuksessa irronneesta hiilidioksidista saadaan sidottua takaisin betoniin. Betonista valmistetut rakennukset ovat energiatehokkaita. Massiivisuutensa takia rakennuksen lämmitysenergia on noin 5–15 prosenttia vastaavaa kevytrakennetta vertailtaessa. Sementin valmistukseen ja kuljetukseen kuluu energiaa noin 4500/5000 MJ/sementtitonnia kohden. Hiilidioksidipäästöt ovat noin 600–700 kg/tn. (Luonnon raaka-aineista energiaa säästävä tuote, N.d.) Puun kasvaessa siihen varastoituu hiilidioksidia koko sen käyttöänsä. Puun käyttäminen rakennusmateriaalina lisää rakennuskantaan varastoituneen hiilen määrää. (Puurakenteissa hiili säilyy pitkään, 2020.)



Kuvio 4. Rakennusmateriaalien valmistuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt (Puurakenteissa hiili säilyy pitkään, 2020.)

Kuvio 4 havainnollistaa hyvin, kuinka puuhun varastoituu hiilidioksidia. Varastoituneen hiilidioksidin määrä on moninkertainen verrattuna sen valmistuksen päästöihin. Puutuotteen käytön jälkeen se voidaan muuttaa energiaksi, jossa siitä ei vapaudu ilmakehään enempää hiilidioksidia kuin sen kasvaessa. (Puurakenteissa hiili säilyy pitkään, 2020.)

## 4.5 Ilmastotekoja

YK:n tavoitteen numero kolmetoista tavoitteena on, että toimitaan kiireellisesti ilmastonmuutosta ja sen vaikutuksia vastaan. Ihmiskunta on omalla tekemisillään ryhtynyt vauhdittamaan maankuoreen varastoitunutta hiiltä. Metsien hakkaamisen seurauksena on ollut ilmakehän hiilidioksidipitoisuus kohoaminen. (Tavoite 13: Toimia kiireellisesti ilmastonmuutosta ja sen vaikutuksia vastaan, 2025.)

Ilmastotekojen alatavoitteisiin (13.1.) on kirjattu, että parannetaan kaikkien maiden kykyä sopeutua ilmaston riskitekijöihin sekä luonnonkatastrofeihin. (Tavoite 13: Toimia kiireellisesti ilmastonmuutosta ja sen vaikutuksia vastaan, 2025). Rakennukset ovat yhä haastavammassa asemassa,

kun luonnon ääriolosuhteet kasvavat ilmastonmuutoksen takia. Väestönsuojien rakentaminen ääriolosuhteita varten saattaa olla tulevaisuudessa totta. Ei puhuta vain kriisiajan väestönsuojista vaan myös sään ääriolosuhteiden suojaavasta rakenteesta tulevaisuudessa?

Alatavoitteissa kirjataan, että ilmastomuutosta koskevat toimenpiteet on integroitava politiikkaan, strategiaihin sekä suunnitteluun. Uuden rakentamislain ja asetusten tavoitteena on ilmastomuutoksen hillitseminen sekä siihen sopeutuminen. Rakentamista ohjataan ilmastonmuutosta hillitsevään suuntaan. Rakenteiden on oltava elinkaariominaisuuksiltaan kestäviä, taloudellisia, energia- tehokkaita, sosiaalisesti ja ekologisesti toimivia sekä kiertotaloutta edistäviä. (Rakentamislaki 751/2023 §5.)

## 5 Biopohjaiset materiaalit

Nykyisiä raaka-aineita sekä tuotteita on vaihdettava kestävämpiin ratkaisuihin. Monet tuotteet ovat tavalla tai toisella luonnosta peräisin tai luonnon innoittamia. Voidaan kehittää jopa odottamattomia tuotteita, jotka ovat kestäviin raaka-aineisiin perustuvia. (Kestävät biopohjaiset materiaalit, 2025.) Metsät ovat tärkeä lähde biopohjaisten materiaalien kohdalla. Metsille ei voi kuitenkaan tehdä mitä vain. Metsälainsäädäntö ohjaa ja edistää metsien hoitoa sekä käyttöä.

Huolehtimalla metsistä, turvataan seuraavilla sukupolville yhtäläiset mahdollisuudet hyödyntää metsiä. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2025.)

Puu on monella tapaa kestävä ratkaisu rakentamisessa. Ympäristöystävällisyyttä ajatellen, puu on yksi maailman ympäristöystävällisimpiä rakennustuotteita. Puu sitoo itseensä hiiltä ja näin toimii hiilivarastona rakennuksen elinkaaren ajan. Puu on uusiutuva luonnonvara, joten ongelmajätettä ei synny samalla tavalla kuin uusiutumattomien rakennustuotteiden kohdalla. (CLT-suunnittelun ohje, 2025.)

Suurin osa biopohjaisista materiaaleista on standardisoituja. Standardien tarkoitus on lisätä yhteensopivuutta. Näiden avulla saadaan parannettua laatua, turvallisuutta sekä lujuutta. Standardeilla määritetään tuotteille testausmenetelmiä sekä ominaisuuksia. Standardit hyödyttävät meitä lähes kaikkialla. Standardien myötä elämämme on huomattavasti turvallisempaa. Tuotteet on testattu standardien määrittelemällä tavalla, ja testit läpäistyään tuotteet ovat valmiita markkinoille. Yhteiset sopimukset keventävät suunnittelijoiden työtä sekä sujuvoittavat toiminnan jatkumista.

Varaosia on helposti saatavilla, koska standardit määrittävät samanlaisten tuotteiden valmistumisen jatkumisen. Tuotestandardien avulla saadaan yksilöityä tuotteille tietyt tarvittavat vaatimukset. (SFS Suomen standardit, 2025.) Väestönsuojien on oltava rakenteeltaan yhteneväisiä ja tuotteiden on täytettävä määrätyt kriteerit. Standardit helpottavat jokaista rakentajaa sekä suunnittelijaa varmistumaan siitä, että tuotteet ovat tarpeeksi laadukkaita kohteisiin.

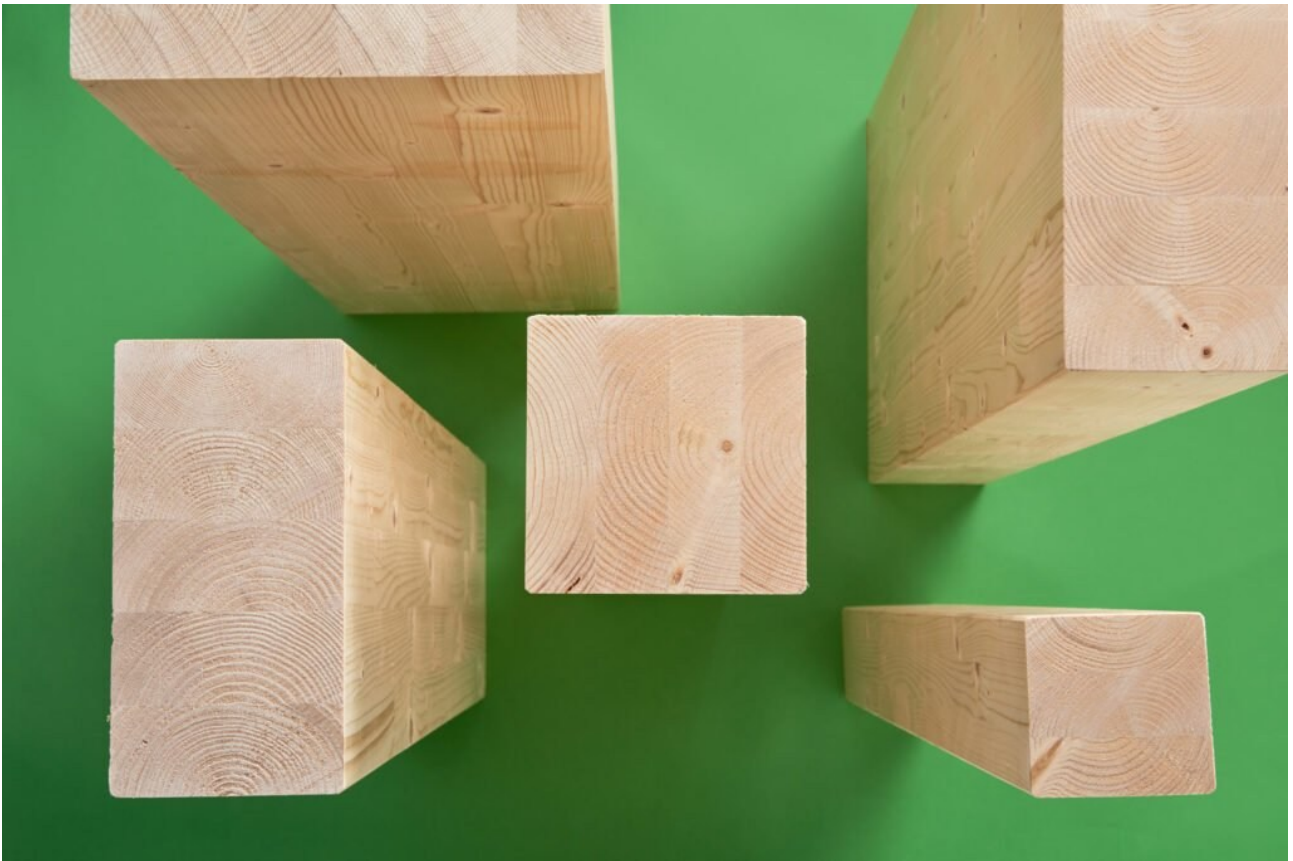
## 5.1 Biopohjaisten materiaalien kilpailukyky

Väestönsuojat rakennetaan pääosin teräsbetonisina tai kalliosuojina. Nämä eivät ole kovin viihtyisiä rakenteita, eikä kovinkaan ilmastoystävällisiä. Kalliosuojia voidaan pitää luonnonmukaisina, koska suoja louhitaan kallioon. Kalliosuojia ei voida kuitenkaan rakentaa mihin vain. Biopohjaisilla materiaaleilla, kuten puulla on hyvinvointivaikutuksia. Puu on materiaalina hyvin miellyttävä, sitä on mukava katsoa sekä koskettaa. Puulla on jopa psykologisia ominaisuuksia, joka parhaimmillaan rauhoittaa. Tutkimukset osoittavat myös, että puulla on huoneilmaa parantavia ominaisuuksia. Puu vaikuttaa myös akustiikkaan vaimentavasti. (Puun hyvinvointivaikutukset, 2025.) Väestönsuojissa saatetaan joutua olemaan pitkiäkin aikoja. On hyvä huomioida viihtyvyys suojia suunniteltaessa. Biopohjaiset materiaalit ovat kilpailukykyinen vaihtoehto viihtyvyyden osalta verrattuna perinteisiin vaihtoehtoihin.

Tutkimus liittyy ajatukseen siitä, että voidaanko tulevaisuudessa rakentaa ympäristöystävällisempiä väestönsuojia. Biopohjaisten materiaalien kehittäminen ja tutkiminen voivat vähentää rakennusalan hiilijalanjälkeä. Tutkimuksella pyritään tuomaan esille mahdollisuuksia ja haasteita, joita materiaalien toiminnassa ilmenee. Metsäbiomassaan perustuvalla biokiertoaloudella on valtavat mahdollisuudet luonnonvarojen viisaan käytön kannalta. Metsäteollisuuden sivuvirrat avaavat uusia monialaisia liiketoimintamahdollisuuksia. Yhden jäte on toisen aarre. (Biopohjaiset antiviraaliset ratkaisut metsistä, 2022.) Osa puuteollisuuden yrityksistä on tehnyt jo tuotteita metsäteollisuuden sivuvirroista, kuten StoraEnso. Biopohjaisten tuotteiden hyödyntäminen tulevaisuuden rakentamisessa on merkittävää muun muassa kasvihuonepäästöjen vähentämisessä.

## 5.2 Liimapuu

Liimapuu koostuu lamelleista, jotka liimataan toisiinsa kiinni. Liimapuu koostuu vähintään kahdesta ja enintään 45 mm paksuista lamelleista. Lamellien syysuunta on liimapuutuotteen pituus-suuntainen. Liimapuulle on oma standardinsa SFS-EN 14080, joka määrittää sen ominaisuudet. (Liimapuu, 2025.) VersoWoodin liimapuut valmistetaan kotimaisista lujuusluokitelluista sahatavarasta. Ammuntakokeessa käytetään VersoWoodin liimapuuta. Liimauksen ansioista saadaan vähennettyä puun elämistä. Liimaus mahdollistaa sen, että saadaan tarkasti määrämittaista sekä muotoista ekologista rakennusmateriaalia. (Verso liimapuu, 2024.) Väestönsuojien kannalta on tärkeää, että puun eläminen on mahdollisimman vähäistä. Kuviossa 5 on havainnollistettu, kuinka liimapuu koostuu lamelleista.



Kuvio 5. Liimapuu (Liimapuu, 2025.)

Palonkestokyky on tärkeää väestönsuojien vaatimuksia ajatellen. Liimapuulla on hyvä palonkestokyky. Kuumuuden vaikutuksesta liimapuu ei taivu ja hiiltymissyvyys tunnin normaalipalon jälkeen on noin 36 mm. (Liimapuu, 2025.) Käytän ammuntakokeessa VersoWoodin liimapuuta. Materiaalin

ominaisuudet palokäyttäytymisessä: Pinnan paloluokka on D-s2, d0. (Veso liimapuu, 2024.) Liimapuu kuuluu luokkaan D, joten sen osallistuu paloon rajoitetusti. Paloluokkaan on lisätty myös lisämääre s2. Lisämääreellä kerrotaan, että liimapuunpalaessa, savuntuotto on vähäistä. Palavien pisaroista merkitään lisämääreellä d0, d1 tai d2. Kokeessa käytettävä liimapuu kuuluu lisämääre luokkaan d0. Liimapuun palaessa palavia pisaroita tai osia ei esiinny. (Ilmanvaihtolaitoksen paloturvallisuusopas, 2024.)

### 5.3 Monikerroslevy (CLT)

Monikerroslevy (Cross Laminated Timber) eli tuttavallisemmin CLT. Monikerroslevy koostuu niimensä mukaisesti ristiin liimatuista puukerroslevyistä. Yhdessä CLT-levyssä on yleensä kolme, viisi tai seitsemän puulevykerrosta. Materiaaleina käytetään pääsääntöisesti kuusta tai mentyä. (CLT materiaalina, 2025.)

Monikerroslevyä voidaan valmistaa erilaisilla valmistustekniikoilla. Vakuumiliimaus on Keski-Euroopassa yleistä. Vakuumiliimauksessa laudat liimataan toisiinsa tyhjiössä. Uudempi tapa on kuitenkin liimata levyt toisiinsa prässin avulla puristamalla. Toinen vaihtoehto on syrjäliimaus. Lautojen syrjät liimataan ensin ja tämän jälkeen ladotaan laudat ristiin. Liimaustavalla on merkitystä siinä, millaisia ominaisuuksia monikerroslevy saa. CLT toimii hyvänä höyrynsulkurakenteena. Levyille ei ole olemassa tällä hetkellä harmonisoitua eurooppalaista tuotestandardia. Tekniset ominaisuudet ja mitoitus on jokaisella valmistajalla omansa. (Monikerroslevy CLT, 2023.) Biopohjaisia väestönsuojia mitoittaessa on tärkeää ymmärtää, että CLT-levyä ei ole Euroopassa standardisoitu. Se luo teknisiä haasteita, jotta väestönsuojista saadaan toimivia. Jokaisen valmistajan tuote on arvioitava erikseen muun muassa ilmantiiveysraporttien perusteella.

Standardisoinnin puutteen vuoksi CLT-levyllä ei ole virallista palomitoitusjärjestelmää Suomessa. CLT-levylle saattaa käydä palon aikana niin, että suojaava hiilikerros irtoaa. (Puurakenteiden palomitoitus, 2018.) Ammuntakokeessa käytetään CrossLam Kuhmon CLT materiaalia. Materiaalin ominaisuudet palokäyttäytymisessä: Pinnan paloluokat D-s2, d0 ja hiilitymisnopeus on  $\beta = 1,0 \frac{mm}{min}$  (CrossLam Kuhmo tuoteominaisuudet, 2015). Pinnan paloluokat jaetaan luokkiin A1-F. A1 tarvikkeet eivät osallistu lainkaan paloon, kuten F tarvikkeiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävää. CLT kuuluu luokkaan D, joten sen osallistuu paloon rajoitetusti. Paloluokkaan on lisätty myös

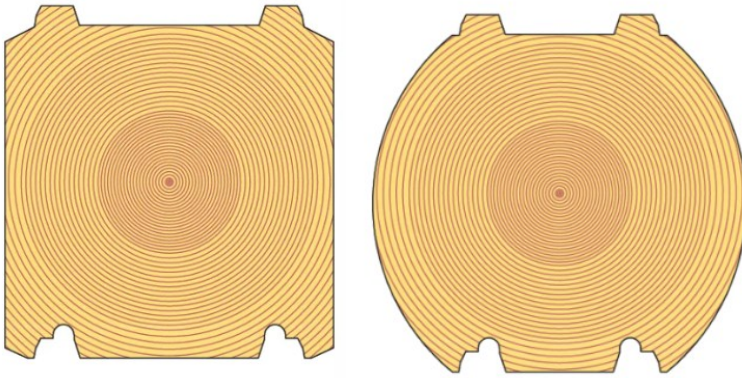
lisämääre s2. Lisämääreellä kerrotaan, että CLT:n palaessa, savuntuotto on vähäistä. Palavien pisaroista merkitään lisämääreellä d0, d1 tai d2. Kokeessa käytettävä CLT kuuluu lisämääre luokkaan d0. CLT:n palaessa palavia pisaroita tai osia ei esiinny. (Ilmanvaihtolaitoksen paloturvallisuusopas, 2024.) Kuvio 6 havainnollistaa, kuinka monikerroslevy koostuu ristiin liimatuista puukerroslevyistä.



Kuvio 6. Monikerroslevy (Monikerroslevy CLT, 2023.)

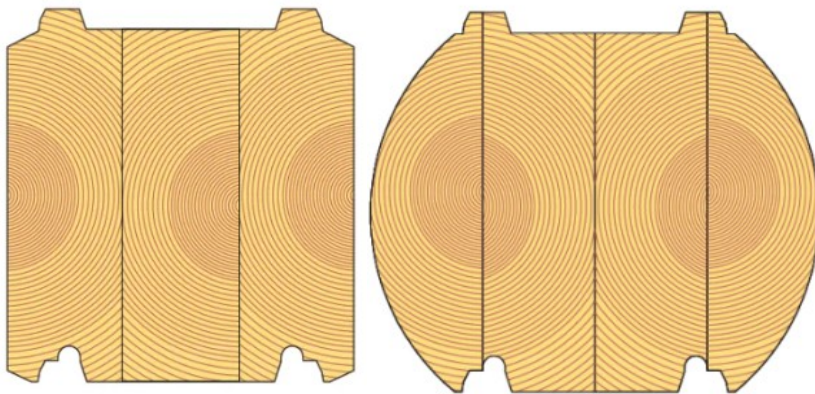
## 5.4 Hirsi

Sotien aikana sotilaat rakensivat rintamalle korsuja, jotka olivat hirrestä tehtyjä suojapaikkoja. Hirret voidaan jakaa koostumukset ja muotonsa perusteella. Hirret muodot ovat pyöröhirsi ja kulmikas hirsi. Hirsi voi olla massiivi- tai lamellihirttä. Hirsi tyypistä riippumatta niitä koskee samat veistoperiaatteet. (Hirsityypit ja perusprofiilit, 2020.) Kuviossa 7 on kuvattuna kaksi perinteisempää hirsimallia.



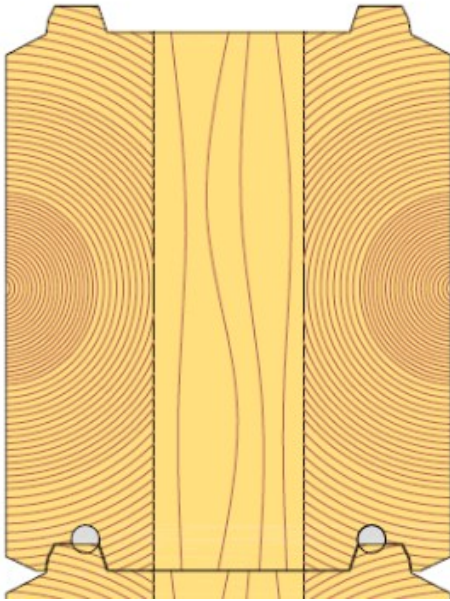
Kuvio 7. Massiivipyöröhirsi ja massiivihöylähirsi (Hirsityypit ja perusprofiilit, 2020.)

Lamellihirret koostuvat samansuuntaisesti toisiinsa liimatuista lamelleista. Kuviossa 8 on lamelli-höylähirsi ja -pyöröhirsi. Tämä rakenne mahdollistaa sen, että voidaan valmistaa poikkileikkaukseltaan hyvin massiivisia hirsiiä. Lamellihirttä vertailtaessa massiivihirteen, lamellihirsi on stabiilimpi. Tällä tarkoitetaan sitä, että kiertotalouden ja halkeilun näkökulmasta lamellihirsi on parempi vaihtoehto. Kosteuseläminen on kuitenkin samanlaista massiivipuuhirren kanssa. Seinien painuma on otettava huomioon. (Hirsityypit ja perusprofiilit, 2020.)



Kuvio 8. Lamellihöylähirsi ja lamellipyöröhirsi (Hirsityypit ja perusprofiilit, 2020.)

Painumattomasti hirrestä puhuttaessa tarkoitetaan lamellihirttä (kuvio 9). Keskimmäisen tai keskimmäisten lamellin syyt ovat pystyyn. Näin saadaan minimoitua painuma. Muut lamellit ovat riskikkäin, jolloin saadaan vähennettyä kosteuselämistä. Painumisen väheneminen on merkittävää, joten voidaan puhua painumattomasti hirrestä. (Hirsityypit ja perusprofiilit, 2020.)



Kuvio 9. Painumaton hirsi (Hirsityypit ja perusprofiilit, 2020.)

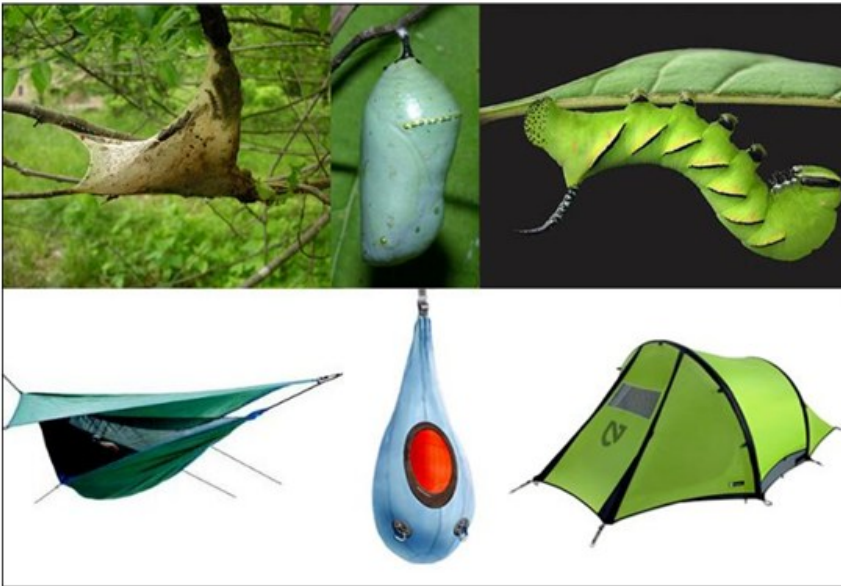
Hirsi on ollut satoja vuosia kiertotalouden edelläkävijä. Tämä noudattaa kiertotalouden periaatteita. Vanhimmat hirsirakennukset ovat noin 500 vuotta vanhoja. Suomessa rakennushistoria pohjautuu hirsirakentamiseen. (Hirsirakentaminen – kiertotaloutta vuosisatojen takaa, N.d.). Hirsirakentaminen on pitänyt pintansa jo satoja vuosia. Hirren mahdollisuuksia väestönsuojissa on hyvä tutkia ja tarkastella tulevaisuudessa lisää.

## 6 Biopohjaisien materiaalien vertailua

Biopohjaisten materiaalien valmistajia löytyy Suomesta sekä maailmalta erilaisiin käyttötarkoituksiin. Materiaalit valmistetaan erilaisista luonnon materiaaleista. Osa innovaatioista ovat jo vanhoja ja toiset elämänkaarensa alkumetreillä. Jokaisella yrityksellä on kuitenkin sama päämäärä, joka on saada rakennusmateriaaleista yhä ympäristöystävällisempiä. Tässä luvussa tuodaan esille erilaisia biopohjaisia materiaaleja ja niitä verrataan perinteisiin tuotteisiin. Tuotteiden valmistajien taustoista kerrotaan myös lyhyesti.

Biopohjaisten materiaalien osalta tutkimuksia ja lähdeaineistoja löytyy kansainvälisesti enemmän. Monet biopohjaiset materiaalien valmistajat ovat Keski-Euroopasta. Suomessakin tehdään monia biopohjaisia materiaaleja, mutta ei niinkään rakennusalalle kuuluvia tuotteita. Hawajin yliopisto on tehnyt tutkimusta luonnon innoittamista väestönsuojista. Perinteinen neliskulmainen suoja ei ole

ehkä paras vaihtoehto. Luonnosta voidaan ottaa monella tapaa oppia erilaisiin suojiin, kuten kuvio 10 havainnollistaa. (War Shelters Inspired by Nature, 2011.)



Kuvio 10. Inspiraatiota luonnosta (War Shelters Inspired by Nature, 2011.)

## 6.1 Stora Enso

Stora Enso toimittaa maailmanlaajuisesti erilaisia uusiutuvia tuotteita, kuten biomateriaaleja sekä puutuotteita. Heidän tavoitteenansa on YK:n kestävän kehityksen mukaisesti tavoitella parempia ratkaisuja ilmaston pelastamiseksi. (Olemme uusiutuvien materiaalien yhtiö, 2025.)

Ligniini on Stora Enson kehittämä tuote, jolla voidaan korvata fossiilisia materiaaleja. Tämä aine on toiseksi suurin uusiutuva hiilen lähde maapallollamme. Vain selluloosa ohittaa ligniinin uusiutuvana hiilen lähteenä. Ligniiniä esiintyy jokaisen puun soluseinämässä. Puusta noin 20–30 prosenttia on ligniiniä. Ligniini ei ole kuitenkaan uusi innovaatio. Stora Ensolla on Kotkassa tehdas, joka erottaa krafligniiniä vuodesta 2015 alkaen. Käyttökohteita on myös monia, joilla voidaan korvata fossiilisia fenoleja. Vanerin, LVL-viilupuun sekä eristemateriaalien hartseja voidaan korvata ligniinin avulla. (Ligniini, 2025.) Perinteisistä eristemateriaaleista saadaan ympäristöystävällisempiä uusien innovaatioiden avulla.



Kuvio 11. Ligniini (Ligniini, 2025.)

## 6.2 Diasen

Yrityksen matka on alkanut jo 1920-luvulla, mutta Diasen on perustettu vuonna 2000. Italialainen Lorenzo Pierantoni oli omistautunut saippuantuottaja. Hän oli itse oppinut ja halusi kokeilla saippuan tuotannossa erilaisia tekniikoita. Vuodet vierivät ja intohimo uuteen yritysmaailmaan sekä seikkailuun toisen maailmansodan jälkeen otti tuulta alleen. Lopulta syntyi rakennusteollisuuteen erikoistunut yritys, joka valmistaa kemiallisia tuotteita. Pierantonin tyttärentyttären mies Floriano Mingarella johti yritystä uteliaisuudella, avoimuudella sekä kokeilunhalulla. Floriano rakasti kokeilla ja innovoida uutta. Hän kokeili erilaisia niin sanottuja yhteensopimattomia raaka-aineita esimerkiksi korkkia ja sementtiä. (Paluumatka tulevaisuuteen, 2025.)

Diasenin tuotevalikoima on todella laaja. Heiltä löytyy tuotteita moniin käyttötarkoituksiin. Uteliaisuus ja innostus kokeilla hieman jopa erikoisiakin materiaaliyhdistelmiä on tuonut heidät tähän pisteeseen. Heidän tuotevalikoimistaan löytyy biopohjaisia materiaaleja primereista viimeistelytuotteisiin. Diasenilta löytyy laastituotesarja, joka on nimeltään Diathonite. Kokemuksien ja visioiden pohjalta on syntynyt tuotesarja, jotka ovat kestävän kehityksen mukaisia. Tuotteiden tarkoituksena on varmistaa kotien ja rakenteiden hyvinvointia. (Diathonite -universumi, 2025.)

### 6.2.1 Diathonite Acoustix+

Diathonite Acoustix+ on ympäristöystävällinen vaihtoehto rappaukseen. Se on korkkipohjainen biolaasti. Tuote on valmistettu luonnon raaka-aineista, kuten korkista ja savesta. Lisäksi elinkaaren lopussa tuote voidaan kierrättää. Tuotteella on myös hyvä äänenvaimennuskyky, jonka ansiosta se poistaa kaikua ja vähentää heijastuvia ääniä. Tuotteen hengittävyys ansiosta homeen muodostus ja kosteuden tiivistyminen saadaan vältettyä. (Diathonite Acoustix+, 2025.)



Kuvio 12. Diathonite Acoustix+ (Diathonite Acoustix+, 2025.)

Taulukko 2. Materiaalien vertailu - Weber vetonit vs. Diasen Diathonite Acoustix+

Tuote:	Muurauslaasti Weber vetonit ML 5M100/600 (Weber, 2025.)	Diathonite Acoustix+ (Diathonite Acoustix+, 2025.)
Lämmönjohtavuus	$0,077 \frac{W}{mK}$	$0,075 \frac{W}{mK}$
Hengittävyys	$\mu = 15/35$	$\mu = 4$
Palonkesto	Luokka A1	Luokka A1 (standardin UNI EN 13501-1:n mukaan). Ei liekin muodostumista. Ei savupäästöjä.
Mekaaninen kestävyys		$2,8 \frac{N}{mm^2}$
Puristuslujuus	Puristuslujuusluokka M5	erinomainen
tilavuuspaino	$1800 \frac{kg}{m^3}$	$400 \pm 30 \% \frac{kg}{m^3}$
Vedentarve	$0,12-0,14 \frac{l}{kg}$	$0,7-0,9 \frac{l}{kg}$

Taulukossa 2 vertaillaan biopohjaista sekä perinteistä rakennuslaastia. Hengittävyys ja palonkesto ovat lähes samoissa lukemissa. Hengittävydessä on eroja. Weberin vesihöyrydiffuusiovastuskerroin on suurempi kuin Diasenin tuotteella. Weberin tuote vastustaa vesihöyryn kulkua voimakkaammin, joten se ei ole yhtä hengittävä. Tilavuuspainoltaan Weberin laasti painaa huomattavasti enemmän kuin Diasenin tuote. Vedentarpeessa on myös hieman eroa. Diasenin tuote tarvitsee noin puoli litraa vähemmän vettä kiloa kohti kuin Weberin laasti.

### 6.2.2 Diathonite Thermostep.047

Diathonite Thermostep.047 on Diasenin laastivaihtoehto. Tuotteen avulla parannetaan lattian lämpöominaisuuksia ja pitää lattian hengittävänä. Tälläkin tuotteella on tärkeä tehtävä lämmön ja akustiikan suhteen. Ainutlaatuisia ominaisuuksia tuotteella ovat myös keveys, vahvuus ja huokoisuus. (Diathonite Thermostep.047, 2025.)



Kuvio 13. Diathonite Thermostep.047 (Diathonite Thermostep.047, 2025.)

Taulukko 3. Materiaalien vertailu - Weber lämmöneristyslaasti vs. Diasen Thermostep.047

Tuotekuvaus/ Tuote:	Webertherm 507 Lämmöneristys- laasti (Weber, 2025.)	Diathonite Thermostep.047 (Diathonite Thermostep.047, 2025.)
Lämmönjohtavuus	$0,07 \frac{W}{mK}$	$0,0047 \frac{W}{mK}$
Palonkesto	B1	Luokka A1 Stanrdin UNI ISO 13501-1 mukaisesti. Ei liekinmuodostusta, ei savupäästöä.
Mekaaninen kestävyys	$> 4 \frac{N}{mm^2}$	$5 \frac{N}{mm^2}$
Vedentarve	$0,85 \frac{l}{kg}$	$0,7 - 0,9 \frac{l}{kg}$

Taulukossa 3 vertaillaan Weberin lämmöneristyslaastia sekä Diasenin samankaltaista laastivaihtoehtoa. Lämmönjohtavuudeltaan Diasenin tuote on parempi. Lämmönjohtavuudella tarkoitetaan sitä, että kuinka materiaali johtaa lämpöä. Mitä pienempi lambda eli lämmönjohtavuus sitä paremmasta eristeestä on kysymys. Diasenin tuotteella lämmönjohtavuus on pienempi. Mekaaniselta kestävyydeltään tuotteet ovat lähes samoissa lukemissa. Samoin vedentarve on lähes sama molemmilla tuotteilla.

### 6.3 Agosti Nanotherm Srl

Italialainen yritys Agosti Nanotherm Srl:llä on yli 30 vuoden kokemus lämmöneristysalalta. Yritys on erikoistunut lämmöneristysratkaisuihin. Yrityksen tavoitteena on täyttää asiakkaiden erityistarpeet. Tarjotaan asiakkaalle paras mahdollinen ratkaisu kustannushyötysuhteeltaan. Markkinoilla olevat tuotteet eivät ole tarjonneet oikeanlaisia ratkaisuja. Agosti Nanotherm Srl aloitti tutkimaan mahdollisia ratkaisuja perinteisten tuotteiden tilalle. Ratkaisuja oli haettava standardien ulkopuolelta. (Agosti Nanotherm Srl over 30 years of experience, 2025.)

Nobilium on tuoteperhe, joka kehitettiin vastaamaan markkinoilla olevaan eristysmateriaali puutteisiin. Markkinoilla haluttiin yhä korkealaatuisempia ja tehokkaita eristysmateriaaleja. Tuotesarjaa aloitettiin valmistelemaan vuonna 2007. Yritys toi markkinoilla ensimmäisenä Euroopassa aerogeeliä sisältäviä eristemateriaaleja vuonna 2002. (Agosti Nanotherm Srl over 30 years of experience, 2025.)



### 6.3.1 Nobilium ThermaPanel

Nobilium ThermaPanel on luonnollinen, hengittävä sekä palamaton eristyslevy. Levy on profiililtaan vain 9 tai 3 mm paksua. Tuote on suunniteltu parantamaan sisätilojen mukavuutta ja energiatehokkuutta. Tuote on valmistettu ainutlaatuisesti tuliperäisestä kuidusta, joka on ommeltu kestäväksi mekaanisesti. Matalan profiilinsa ansiosta, tuotetta on ihanteellista käyttää, jos paksua eristettä ei voida hyödyntää. Tuotteen avulla saadaan vähennettyä lämpöhäviöitä, mikä säästää energiaa sekä on ympäristöystävällinen. Eristelevy täyttää myös korkeat eristysvaatimukset. (Nobilium, ThermalPanel, 2025.)



Kuvio 14. Nobilium ThermaPanel (Nobilium, ThermalPanel, 2025.)

Taulukko 4. Materiaalien vertailu – Paroc Figra 170t vs. Nobilium ThermaPanel

Tuote:	PAROC Figra 170t	Nobilium ThermaPanel
		
	(Paroc Figra 170t, 2025.)	(Nobilium ThermaPanel, 2025.)
<b>Nimellistiheys:</b>	$170 \frac{kg}{m^3}$	$180 \frac{kg}{m^3}$
<b>Pistekuormituksen kestävyys:</b>	PL (5) Standardi: EN 13162:2012 + A1:2015 (EN 12430)	6150 N
<b>Ominaislämpökapasiteetti:</b>		$2100 \frac{J}{kg * K}$
<b>Lämmönjohtavuus:</b>	$0,038 \frac{W}{mK}$	$0,032 \frac{W}{mK}$

Taulukon 4 avulla vertaillaan Paroc Figra 170t -tuotetta sekä Nobolium ThermaPanelia. Vertailun avulla on tarkoitus tuoda esille, kuinka samanlaisia tuotteet ovat kapasiteetiltaan. Nimellistiheyksien osalta ei ole juurikaan heittoa. Lämmönjohtavuudeltaan ThermaPanel on hieman Parocin tuotetta parempi. Ominaisuuksiltaan tuotteet ovat hyvin samankaltaisia.

## 6.4 Mayr Melnhof Holz

MM Holz on yritys, jolla on yli 170 vuoden kokemus puunkäsittelystä. He ovat erikoistuneet kestäviin puutuotteisiin. Tuotteet hankitaan kestävästä metsätalouden mukaisista metsistä. Yrityksellä on yhdeksän toimipistettä, jotka sijaitsevat Itävallassa, Saksassa, Tshekissä ja Ruotsissa. Yritys on sitoutunut toiminnallaan kestävyteen, jäljitettävyyteen ja prosessiensa jatkuvaan optimointiin. (Reliable, passionate, sustainable, 2021.)

### 6.4.1 Puu-betonielementtiyhdistelmä

Puu-betoniyhdistelmäelementti yhdistää puun ja betonin parhaat ominaisuudet. Tehdasvalmistetut XC-elementit nopeuttavat rakentamista, koska eivät vaadi paikallista betonivalua tai lisävahvistuksia. Tällä saadaan vähennettyä työvaiheiden määrää ja rakentamisaika lyhenee jopa 40 prosenttia. Elementit ovat ympäristöystävällisiä, koska materiaalit ovat kierrätettäviä ja vähentävät hiilidioksidipäästöjä. (The timber-concrete-composite element, 2022.)

Taulukko 5. Puu-betonielementtiyhdistelmä (The timber-concrete-composite element, 2022.)

	Liimapuu	Betoni
<b>Materiaalin laatu:</b>	GL 24h ja 1359 – CPR – 0623	C30/37 tai C35/45 XC3/RRS/GK16
<b>Materiaalin tiheys:</b>	$420 \frac{kg}{m^3}$	$2400 \frac{kg}{m^3}$
<b>Lämmönjohtavuus:</b>	$0,13 \frac{W}{m * K}$	$2,00 \frac{W}{m * K}$
<b>Ominaislämpökapasiteetti:</b>	$1600 \frac{J}{kg * K}$	$1000 \frac{J}{kg * K}$

Kuten aiemmin tekstissä mainitaan, puu-betonielementti yhdistää puun ja betonin parhaat ominaisuudet. Näiden kapasitetiin avulla joita taulukko 5 kertoo. Saadaan tehtyä tuote, jolla saadaan vähennettyä betonin osuutta rakentamisessa.



Kuvio 15. Puu-betonielementin asennus

Maailmalta löytyy monenlaisia biopohjaisia materiaaleja. Biopohjaisia materiaaleja valmistetaan toisten tuotteiden sivuvirroista tai kokonaan omana tuotteenaan. Taulukoiden avulla vertailemalla tuodaan tuotteita lähemmäksi ja selkokielisemmiksi, jotta niihin tutustuminen on helpompaa. Taulukot auttavat hahmottamaan, kuinka biopohjaiset materiaalit eroavat perinteisistä rakennusmateriaaleista. Erot eivät olleet kovinkaan suuria. Biopohjaiset materiaalit ottivat kuitenkin muutamia voittoja. Lämmönjohtavuudeltaan ja hengittävyydeltään biopohjaiset materiaalit olivat parempia. Muuten lähes kaikki muut tuotetiedot menivät aika käsikädessä

Tuloksista voidaan päätellä, että biopohjaiset materiaalit ovat samanarvoisia tai jopa hieman parempia perinteisiin tuotteisiin verrattuna. Lämmönjohtavuudeltaan tai hengittävyydeltään biopohjaiset materiaalit ovat perinteisiä materiaaleja edellä. Ainakin näiden tutkittavien materiaalien osalta.

## 7 Kohti biopohjaisia väestönsuojia

### 7.1 Tarkoitus

Ammuntakokeiden tarkoituksena on selvittää, kuinka patruunat läpäisevät puumateriaaleja. Näiden tietojen avulla voidaan lähteä tutkimaan tarkemmin, että soveltuvatko puumateriaalit väestönsuojien vaipparakenteiksi. Materiaaleiksi valikoitui monikerroslevy sekä liimapuu. Materiaaleja

käytetään kantavina rakenteina monissa rakennuksissa. Materiaalit kestävät hyvin toistuvia iskuja ja säilyttävät muotonsa kovista kuormista huolimatta. Ammuntakokeissa käytettävät puumateriaalit koostuvat myös useista kerroksista, joka vaimentavat patruunoiden läpäisevyyttä. Materiaaleihin ammutaan puun syiden suuntaisesti sekä puun syitä vastaan.

Biopohjaisia materiaaleja on olemassa jo monenlaisia. Työn tarkoituksena oli kerätä mahdollisia materiaalivaihtoehtoja osaksi väestönsuojia. Biopohjaiset materiaalit täydentävät puupohjaista vaipparakennetta. Nämä vaativat vielä tarkempia tutkimuksia, jotta päästään varmuuteen siitä, että rakenteet ovat turvallisia käyttötarkoitukseen huomioon ottaen.

## 7.2 Tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymyksien avulla lähdettiin viemään työtä eteenpäin. Millaisia materiaaleja löytyy jo valmiina, joita voitaisiin hyödyntää väestönsuojissa. Materiaaleilta vaaditaan myös merkittävää kestävyttä, jotta ne ovat tarpeeksi turvallisia. Paljon kysymyksiä, joihin tarvitaan vastauksia, eikä työssä löydetty kaikkiin kysymyksiin vastausta. Seuraavissa kokeissa voidaan perehtyä esimerkiksi johonkin kysymykseen vieläkin tarkemmin.

- Onko tällä hetkellä olemassa biopohjaisia materiaaleja, joilla saataisiin mahdollisimman turvallisia ja toimivia väestönsuojia?
- Onko tuotteet tarpeeksi kestäviä väestönsuojia varten?
- Hybridimalli yhtenä vaihtoehtona?
- Erilaisten materiaalien soveltuvuus väestönsuojiiin?
- Kestävän kehityksen merkitys?
- Tilapäissuojaksi?
- Onko tuotteet tällä hetkellä jo tarpeeksi kestäviä väestönsuojia varten?

Ennen työni varsinaista aloittamista, keräsin vastauksia sähköpostitse aiheeseen liittyen. Kysyin sähköpostien avulla biopohjaisiin väestönsuojiiin liittyen, että onko niiden rakentaminen ja käyttö mahdollista. Vastaukset vaihtelivat hyvin paljon. Tavoitteena oli, että aihe herättää keskustelua. Aihe vaatii vielä paljon jatkojalostamista, jotta päästään itse varsinaisia väestönsuojia perustamaan. Tämän työn pohjalta voidaan ottaa seuraava askel kohti biopohjaisia väestönsuojia. Tavoite on, että tämä aihe ei jää vain tämän yhden opinnäytetyön mittaiseksi.

Väestönsuojat rakennetaan pääosin uusiutumattomista raaka-aineista – teräsbetonista ja kalliosta. Kalliosuojat ovat luonnonmateriaalia, mutta tällä hetkellä sisärakenteissa on käytettävä uusiutumattomia vaihtoehtoja suojan vahvistamiseksi. Rakentamista on mietittävä uudelta ja kestävältä pohjalta. Puumateriaalien sopivuus vaipparakenteeksi väestönsuojissa, sekä muut biopohjaiset materiaalit täydentävät mahdollisesti rakenteen. Tavoitteena on saada mahdollisimman realistinen kuva siitä, onko biopohjaisten materiaalien käyttö mahdollista nyt tai tulevaisuudessa väestönsuojissa.

## **8 Tutkimuksen toteuttaminen**

### **8.1 Tutkimusmenetelmät**

Laadullista tutkimusmenetelmää eli kvalitatiivista tutkimusta käytetään ammuntakokeiden tuloksien analysointiin. Laadullisella tutkimuksella tarkoitetaan sitä, että kuinka ilmiötä lähestytään ja pyritään ymmärtämään (Laadullisen tutkimuksen verkkokirja N.d.). Aineistoa kerättiin haastattelujen avulla, ampumakokeella sekä internetistä löytyvän tiedon avulla. Haastattelujen avulla lähdettiin miettimään työtä varten tutkimuskysymyksiä. Ammunnoissa keskitytään kahteen erilaiseen puumateriaaliin. Patruunoiden läpäisevyyttä verrataan toisiinsa eri materiaaleilla. Materiaaleihin ammutaan puun syiden suuntaisesti sekä puun syitä vastaan. Biopohjaisia materiaaleja tarkastellaan kirjallisuuskatsauksen näkökulmasta. Eri valmistajien biopohjaisia materiaaleja verrataan perinteisiin rakennusmateriaaleihin. Näin saadaan verrattua biopohjaisten materiaalien teknistä soveltuvuutta perinteisiin rakennusmateriaaleihin verrattuna.

### **8.2 Aineiston keruu ja analysointi**

Aineiston keruu työssä oli hyvin monivaiheista. Aluksi ajatuksia aiheesta kerättiin sähköpostiviestien muodossa. Toimeksiantajan kanssa käytiin keskustelua aiheesta ja mihin suuntaan työtä lähdetään viemään. Suurin osa aineistosta koostuu kirjallisuuskatsauksesta biopohjaisiin materiaaleihin sekä ammuntakokeen tuloksista. Näiden keruumenetelmien pohjalta muodostetaan pohjaa jatkotutkimuksille ja tämän hetken johtopäätöksille.

Puumateriaalit ovat osa työn aineistoa. Sähköpostin välityksellä olin ensimmäisenä yhteyksissä kolmeen valmistajaan. Otin yrityksiin lopulta yhteyttä puhelimitse. Kaksi yritystä olivat alusta lähtien

valmiita lähettämään tuotteitaan ammutakokeita varten. Yhdestä yrityksestä sain suoraan kieltävän ja melko negatiivissävytteisen vastauksen. Ammutakoe saatiin lopulta onnistumaan, mutta jonkin verran ajatellusta aikataulusta jäljessä. Koe onnistui ja saatiin tuloksia, joita saatiin analysoida.

### 8.2.1 Erilaisten näkökulmien keruuta

Ennen varsinaisen työn aloittamista, keräsin ajatuksia aiheen tiimoilta muun muassa Tampereen yliopistosta, rakennusneuvokselta sekä Sisäministeriöstä. Jarkko Häyrinen, pelastusylitarkastaja Sisäministeriöstä viittaa vastauksissaan Pelastuslakiin (379/2011, 75.2§), että rakennusluvan myöntävä viranomaisella voi viranomaisesta kuultuaan myöntää poikkeuksen säädetyistä vaatimuksista koskien väestönsuojia. Siihen on oltava perusteltu syy, eikä poikkeuksien tekeminen olennaisesti saa heikentää suojautumis- mahdollisuuksia. Hän kommentoi, että vaihtoehtoisen biopohjaisten materiaalien käyttäminen teräsbetonin sijaan on teoriassa mahdollista. Häyrinen toteaa vielä, että vaatii ”aika reipasta” suunnittelua biopohjaisten materiaalien käyttäminen. Biopohjaisen väestönsuojan on oltava kuitenkin yhtä turvallinen kuin teräsbetonilla toteutettu. Väestönsuojien on säädösten mukaan oltava palamattomia, joten korvaavan rakenteen tulisi olla vastaavasti palamatonta. (Häyrinen 2025.) Uudet tavat ja aiheet ovat tervetulleita myös väestönsuojiiin, toteaa Rakennusneuvos Pekka Rajajärvi sähköpostissaan. Väestönsuojien tulee antaa suojaa kaikkia tähän asti keksittyjä aseita vastaan. On huomioitava vanhat uhkakuvat sekä varauduttava tuleviin uhkiin, vastaa Rajajärvi. (Rajajärvi 2025)

Tampereen Yliopistolta sain muutaman vastauksen. Markku Karjalainen, Professori, Tampereen yliopistosta kirjoittaa sähköpostissa, että sortumalujuutta, massaa sekä sirpale- ja säteilysuojausta väestönsuojalta lähtökohtaisesti edellytetään. Luonnonkivi ja kalliosuojat ovat käyviä, mutta savi-, olki- tai puupohjaiset tuotteet eivät tule kysymykseen kantavissa väestönsuojissa. (Karjalainen 2025.) Anssi Laaksonen Tampereen Yliopistosta kirjoittaa myös sähköpostissaan, että biopohjaiset materiaalit eivät oikein sovellu tuohon käyttötarkoitukseen varsinaisena kantavana rakenteena. Hän viittaa vielä viestissään väestönsuojien painekuormituksiin, joita suojalta vaaditaan. (Laaksonen 2025.)

Tutkija, Janne Koivukoski Pelastusopistolta kirjoittaa sähköpostissaan, että väestönsuojien rakentamisen pääkriteeri on paineenkestävyys. Toisena vaatimuksena suojalle on säteilysuojaus. Tämän

hetken säädösten mukaan on rakennettava kalliosuojia tai betonisuojia. Biomateriaalien kohdalla rakenteiden paksuudet kasvavat suuriksi, kun vaaditaan paineen- sekä säteilykestävyyttä. Tilapäis-suojaratkaisuisissa biomateriaalien käyttö on mahdollista. (Koivukoski, 2025.)

### **8.2.2 Biopohjaisten materiaalien analysointia**

Keski-Euroopasta löytyy monia valmistajia, jotka valmistavat biopohjaisia materiaaleja. Kirjallisuuskatsauksen muodossa vertailtiin perinteisiä rakennusmateriaaleja biopohjaisiin materiaaleihin. Havainnollistettiin taulukoiden avulla, kuinka samanlaiseen käyttötarkoitukseen tarkoitettut materiaalit eroavat toisistaan. Valmistajien materiaaleista valikoitui tuotteita, joilla voi olla mahdollisuuksia toimia osana väestönsuojia. Biopohjaisia materiaaleja analysoitiin valmistajien antamien tuotekuvausten pohjalta.

### **8.2.3 Ammuntakoe**

Ammuntakoe suoritettiin Mansikkamäen ampuradalla Huittisissa. Kokeessa ammuttiin seitsemän lamelliseen CLT-kappaleeseen, joka on Oy CrossLam Kuhmon valmistama. Vertailun vuoksi ammuttiin liimapuuhun, joka on VersoWoodin valmistama. Näin saadaan vertailtua kahta erilaista puumateriaalia.

Kokeessa ammuttiin neljällä erilaisella aseella. 50 metristä ammuttiin Sako75Hunter -metsästyskiväärillä, Stag arms ar-15-kiväärillä ja Norinco 56S – rynnäkkökiväärillä. 25 metristä ammuttiin H&K SFP9 -pistoolilla. Molempiin kappaleisiin ammuttiin puun syiden suuntaisesti sekä puun syitä vastaan. Patruunoiden läpäisevydet mitattiin hitsauksessa käytettävän mikkilangan avulla. Mikkilanka laitettiin patruunoiden tekemästä reiästä läpi. Lankaa syötettiin reikään, kunnes patruuna tuli vastaan. Mikkilanka otettiin pois reiästä ja mitattiin mitan avulla patruunan läpäisevyys. Näin saadaan selvitettyä, kuinka syvällä patruunat läpäisevät puumateriaalin. Lopuksi analysoidaan ja vertaillaan tuloksia toisiinsa.

## 9 Tulokset

### 9.1 Ammuntakoe

Ammuntakokeessa käytettiin neljää erilaista patruunaa. Metsästyskiväärin patruuna on 308win. Tämä on kaupallinen nimi sotilaspatruunalle 7.62 mm NATO (T65E3) (.308 Winchester, 2025). Kiväärissä käytettiin patruunaa nimeltä 223rem. Tämä kaliiperi on yksi Yhdysvaltojen tämän hetken suosituimmista. Kaliiperi on myös maailmalla hyvin suosittu ja patruunoita valmistaa monet yritykset. Suomessakin valmistetaan .223 Remington -kaliiperisia aseita. Poliisin partiokiväärit ovat kaliiperiltään .224 Rem sekä Rajavartiolaitoksen valmiusyksikkö käyttää .223 Rem kaliiperisia kiväärejä. (.223 Remington, 2025.) Rynnäkkökiväärissä käytettiin patruunaa 7.62x39. Tämän kaliiperin patruunat ovat olleet Suomen armeijan käytössä jo pitkään. Suomalaiset rynnäkkökiväärit ovat pesitetty kyseisellä kaliiperilla. (7.62x39, 2025.) Pistoolissa käytettiin 9 mm patruunaa. Patruuna on ehkä maailman suosituimpia ja laajimmin käytössä oleva sotilaskäsiasepatruuna, kirjoittaa Waffener.net sivuillaan. Patruunaa valmistetaan jopa yli 70 eri maassa. (9x19 mm Prabellum, 2025.)



Kuvio 16 Metsästyskiväärin ja kiväärin patruunat (Waffenlager, 2023.)



Kuvio 17 Rynnäkkökiväärin ja pistoolin patruunat (Waffenlager, 2023.)

Ammuntakokeessa ammuttiin puun syiden suuntaisesti sekä puun syitä vastaan. Tuloksia vertailtiin keskenään, jotta saadaan muodostettua kuva patruunoiden läpäisevyydestä puumateriaaleissa. Huittisten seudun reserviläisen Ari Ahlbom toi aseet mukaan. Hän ehdotti aseiksi pistoolia, metsästyskivääriä, rynnäkkökivääriä ja kivääriä. Aseissa käytettävät patruunat ovat käytössä

NATO:ssa laajasti kuten Suomen puolustusvoimissakin. Yleisyytensä takia patruunat olivat hyvä valinta ammuntakokeita varten.



Kuvio 18. Puumateriaalit valiina ammuntaa varten

Puumateriaaleihin ammuttiin kivääreillä 50 metrin päästä katoksesta sekä pistoolilla 25 metrin päästä. Sää oli ammuntakokeille hyvin suotava. Ammuntapaikalla oli lämmintä noin viisi astetta. Tuuli ei päässyt ammuntoja haittaamaan. Kohdistuksessa kuitenkin näin lyhyellä matkalla oli hie-  
man haasteita. Aseet oli kohdistettu pidemmälle matkalle.

Kuviossa 19 VersoWoodin liimapuu, mitoiltaan 235x360x1000. Kyseiseen materiaaliin ammuttiin puun syiden suuntaisesti. Materiaaliin ammuttiin yhteensä kuusi laukausta. Liimapuu koostuu kah-  
deksasta lamellista, jotka ovat paksuudeltaan 45 millimetriä paksuja.



Kuvio 19. Liimapuu 235x360x1000



Kuvio 20. 7-lamellinen CLT 300x995x995

CrossLam Kuhmon 7-lamellinen CLT on mitoiltaan 300x995x995. CLT koostuu neljästä paksumasta lamellista sekä kolmesta ohuemmasta lamellista. Lamellit ovat paksuudeltaan 60 millimetriä sekä 20 millimetriä. Kuvioissa 20 ja 21 on sama 7-lamellinen CLT.

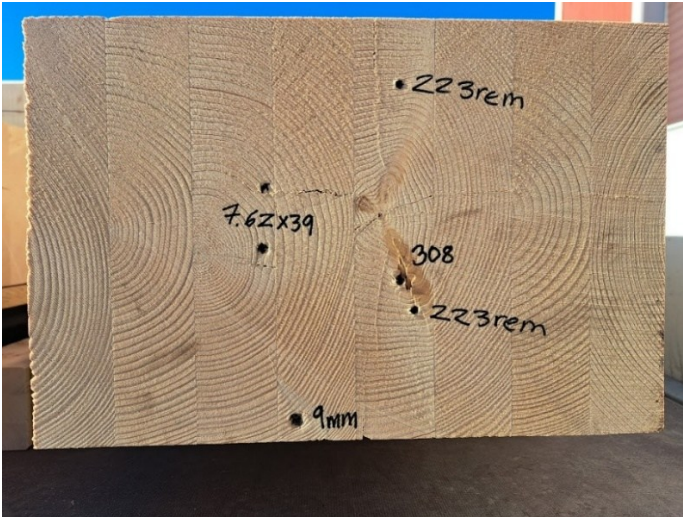


Kuvio 21. 7-lamellinen CLT:n -sivuprofiili

## 9.2 Liimapuu

### 9.2.1 Liimapuu – Puun syiden suuntaisesti

Liimapuuhun ammuttiin kuusi laukausta. Liimapuu on paksuudeltaan 1000 mm, joten laukaukset jäivät kauaksi, jotta patruunat olisivat läpäisseet materiaalin. Kiväärillä ammuttu toinen laukaus läpäisi huomattavasti enemmän liimapuuta muihin laukauksiin verrattuna. Patruuna (223rem) läpäisi liimapuuta 201 mm matkalta. Metsästyskiväärillä ammuttu laukaus läpäisi puuta 107 mm. Pistoolin (9 mm) laukaus 122 mm matkalta on toiseksi paras tulos. Rynnäkkökiväärin laukaukset jäivät parikymmentä millimetriä metsästyskiväärin laukauksista. Rynnäkkökiväärin lukemat olivat (7.62x39) 78 mm ja 85 mm.



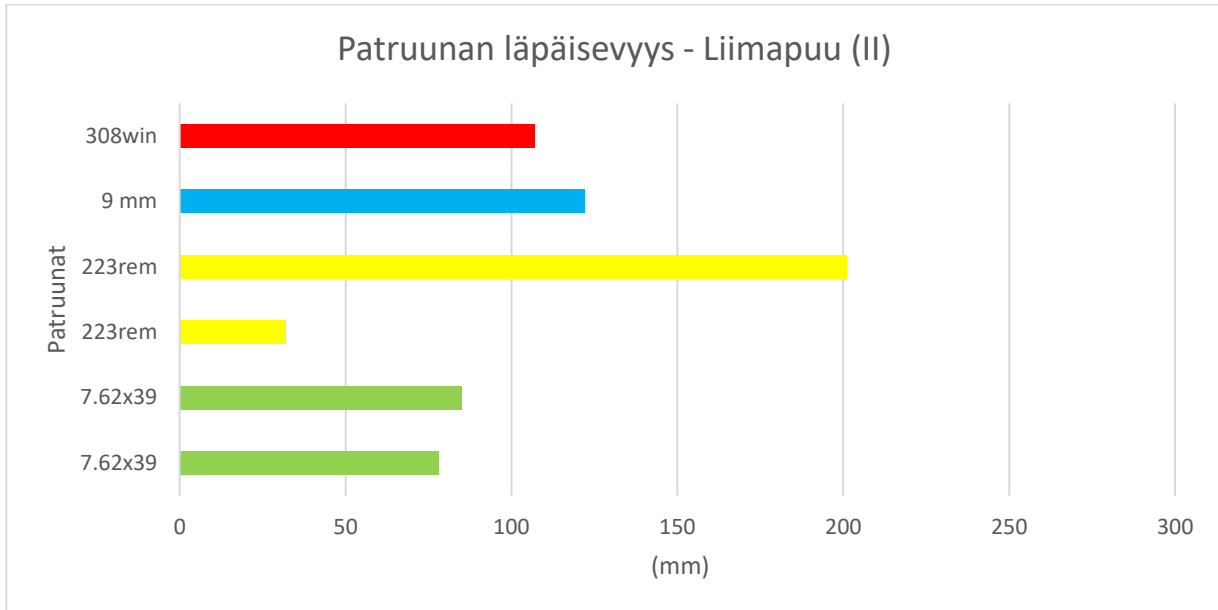
Kuvio 22. Liimapuu - osumat puun syiden suuntaisesti

Taulukko 6. Liimapuu – Lämpäisyvyydet puun syiden suuntaisesti

Materiaali	Patruuna	Patruunan läpäisevyys	Muuta
Liimapuu (1000 mm paksu)	7.62x39	78 mm	
	7.62x39	85 mm	
	223rem	201 mm	
	223rem	32 mm	
	9 mm	122 mm	
	308win	107 mm	

Taulukossa 6 on kirjattu liimapuun läpäisevyydet puun syiden suuntaisesti. Taulukon 7 pylväsdia-grammi hahmottelee tarkemmin eri patruunoiden läpäisevyyksiä. Jokaiselle patruunalle on oma värinsä. Vasemmalle sivuun on kirjattu patruuna sekä alhaalla on millimetri määrä, jonka patruuna läpäisee.

Taulukko 7. Pylväsdiagrammi - Liimapuu



### 9.2.2 Liimapuu – Puun syitä vastaan

Liimapuuhun ammuttiin viisitoista laukausta puun syiden vastaisesti. Yksi laukauksista meni suoraan läpi materiaalista. Materiaali on paksuudeltaan 540 mm. Yksi laukauksista meni puun alapinnasta 166 mm matkalta läpi. Rynnäkkökiväärin laukausta lukuun ottamatta, laukaukset jäivät alle 300 mm. Rynnäkkökiväärillä ammuttiin kuusi laukausta. Laukauksista kaksi jäi huomattavasti muiden arvoista. Laukaukset läpäisivät 98 mm ja 130 mm matkalta. Metsästyskiväärin laukaukset läpäisivät liimapuuta 293 mm ja 287 mm. Tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan. Kiväärillä ammuttiin viisi laukausta, joista eniten läpäisi 297 mm ja vähiten 253 mm. Keskiarvoksi saadaan 276 mm. Pistoolilla ammutut laukaukset läpäisivät liimapuuta 178 mm ja 199 mm matkalta.



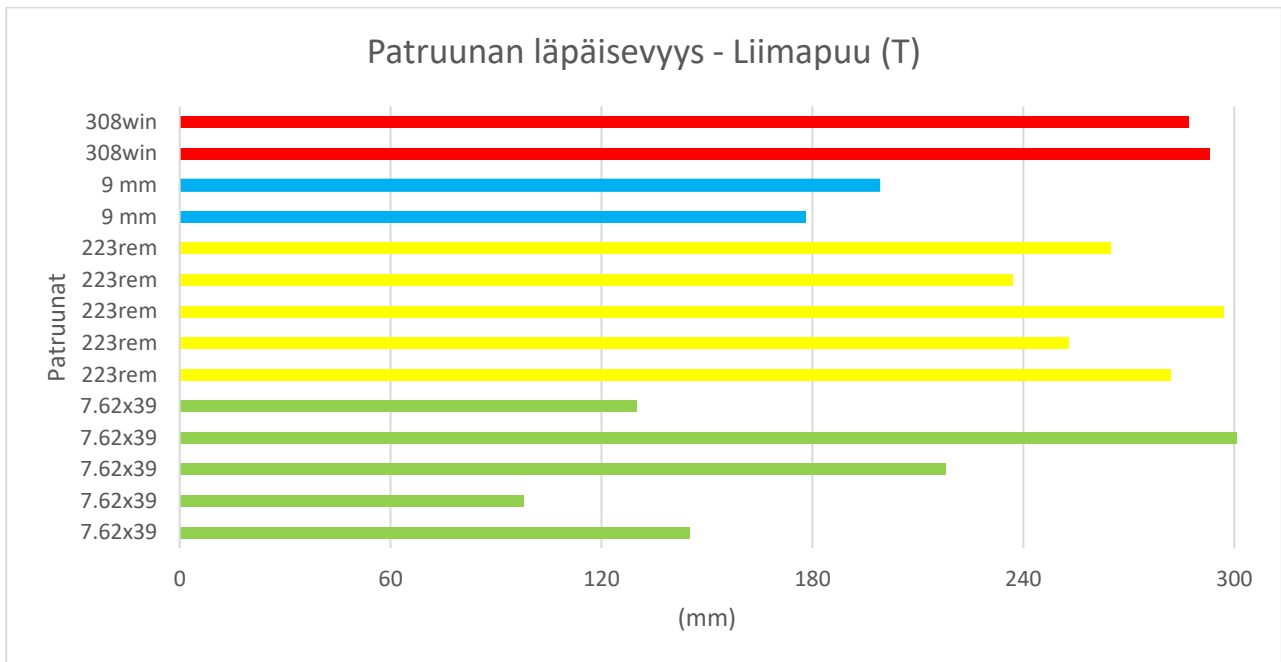
Kuvio 23. Osumat - Liimapuu, puun syitä vastaan

Taulukko 8. Liimapuu - Läpäisevyydet puun syitä vastaan

Materiaali	Patruuna	Patruunan läpäisevyys	Muuta
<b>Liimapuu (1000 mm)</b>	7.62x39	145 mm	
	7.62x39	98 mm	
	7.62x39	läpi	
	7.62x39	läpi	Alhaalta läpi, 166 mm kohdalta.
	7.62x39	218 mm	
	7.62x39	130 mm	
	223rem	288 mm	
	223rem	253 mm	
	223rem	297 mm	
	223rem	237 mm	
	223rem	265 mm	
	9 mm	178 mm	
	9 mm	199 mm	
	308win	293 mm	
	308win	287 mm	

Taulukkoon 8 on kirjattu liimapuun läpäisevyydet puun syitä vastaan. Taulukon 9 pylväsdiagrammi hahmottelee tarkemmin eri patruunoiden läpäisevyyksiä. Jokaiselle patruunalle on oma värinsä. Vasemmalle sivuun on kirjattu patruuna sekä alhaalla on millimetri määrä, jonka patruuna läpäisee.

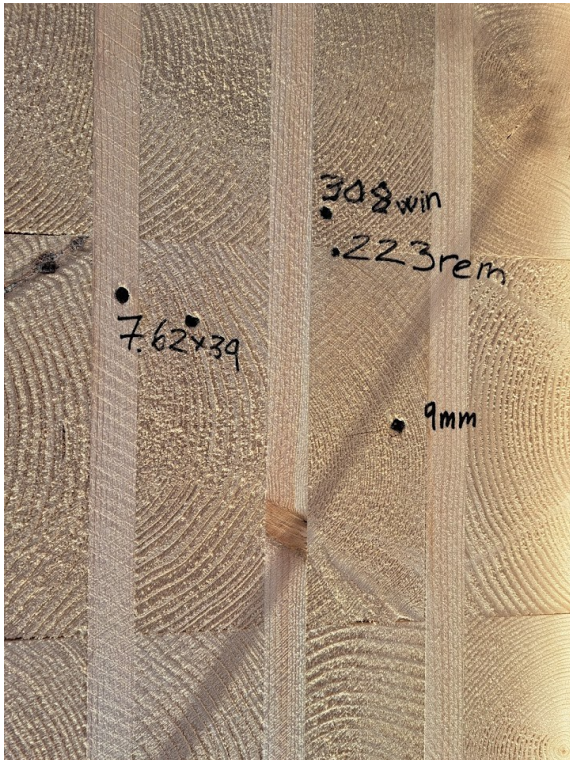
Taulukko 9. Pylväsdiagrammi – Liimapuu



## 9.3 CLT

### 9.3.1 CLT – Puun syiden suuntaisesti

955 mm leveään CLT-kappaleeseen ammuttiin viisi laukausta. Laukaukset jäivät merkittävästi siitä, että läpäisivät materiaalin. Kiväärin laukausta lukuun ottamatta, kaikki läpäisivät materiaalia yli 200 mm. Kiväärin tulos jäi 102 mm. Metsästyskivääri läpäisi materiaalia 240 mm matkalta. Pistoolin ja rynnäkkökiväärin tulokset ovat lähes samassa nipussa. (9 mm) tulos on 215 mm ja (7.62x39) tulos on 212 mm ja 205 mm.



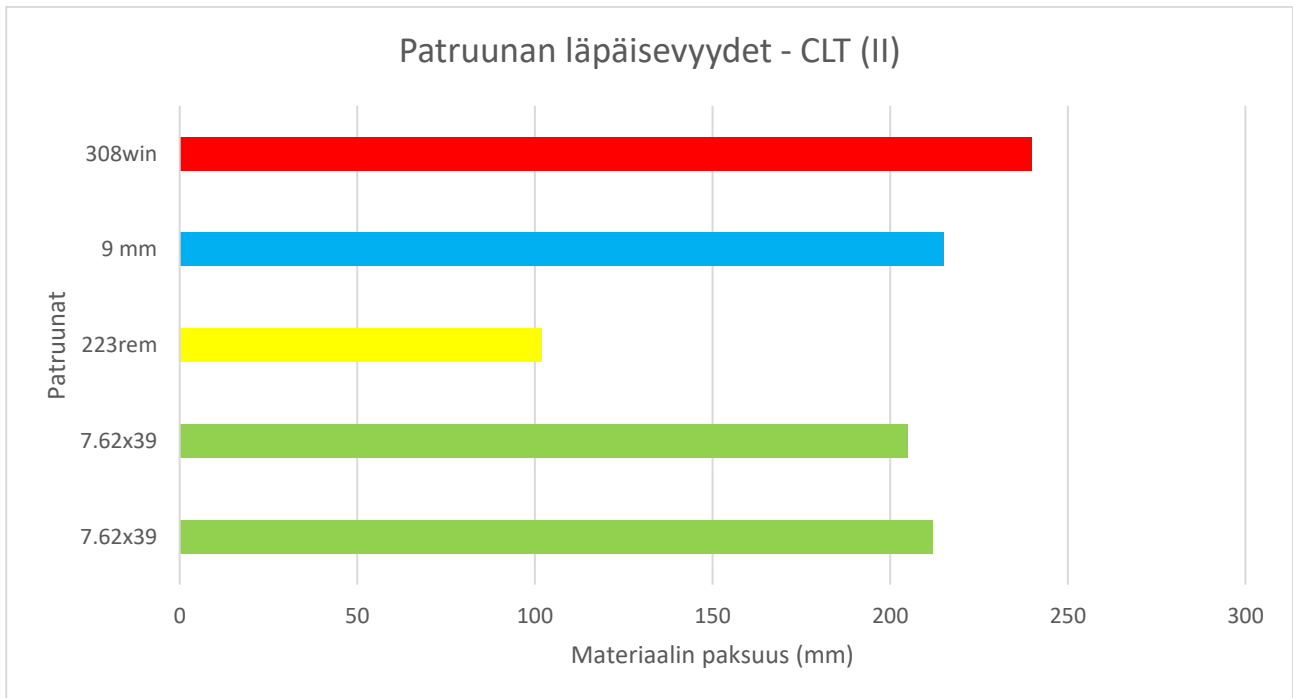
Kuvio 24. Osumat - CLT, puun syiden suuntaisesti

Taulukko 10. CLT - Lämpäisevydet puun syiden suuntaisesti

Materiaali	Patruuna	Patruunan lämpäisevyys	Muuta
CLT (995 mm)	7.62x39	212 mm	Osu lautaan, joka on vastaisesti.
	7.62x39	205 mm	
	223rem	102 mm	
	9 mm	215 mm	
	308win	240 mm	

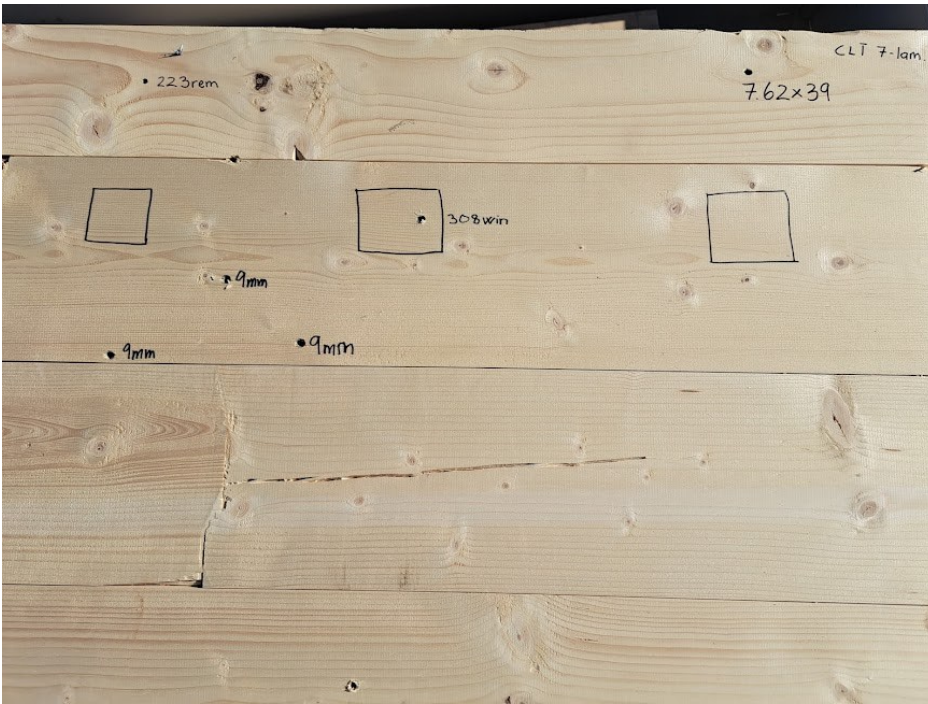
Taulukkoon 10 on kirjattu CLT:n läpäisevyydet puun syiden suuntaisesti. Taulukon 11 pylväsdiagrammi hahmottelee tarkemmin eri patruunoiden läpäisevyyksiä. Jokaiselle patruunalle on oma värinsä. Vasemmalle sivuun on kirjattu patruuna sekä alhaalla on millimetri määrä, jonka patruuna läpäisee.

Taulukko 11. Patruunan Läpäisyvytydet - CLT (II)



### 9.3.2 CLT – Puun syitä vastaan

Materiaaliin ammuttiin kuusi laukausta. Kaksi laukausta läpäisi materiaalin ja kiväärin patruuna rikkoi puun pinnan, mutta ei mennyt läpi asti. Metsästys- sekä rynnäkkökiväärin patruunat menivät suoraan materiaalista läpi. Pistoolin laukaukset läpäisivät materiaalia alle 150 mm matkalta.



Kuvio 25. Osumat - CLT, puun syitä vastaan

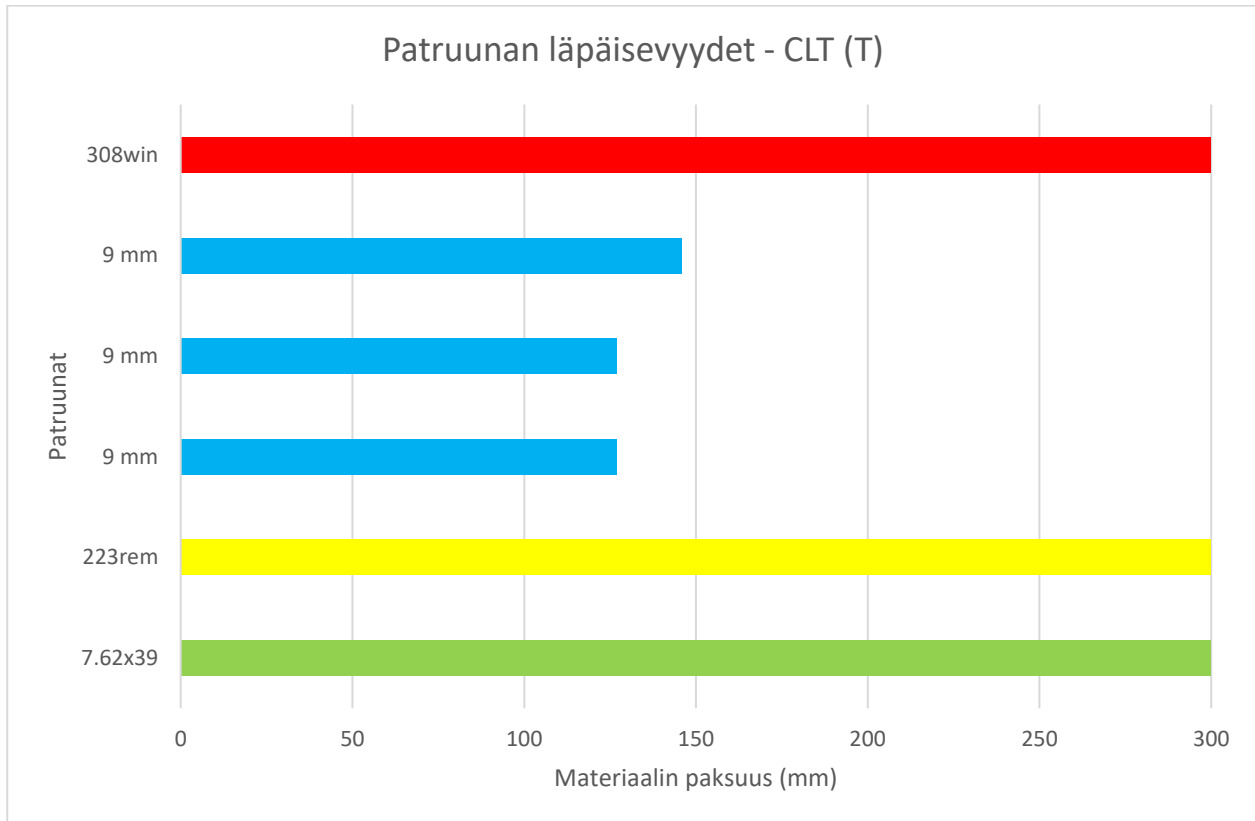
Taulukko 12. CLT - Läpäisyvyvydet puun syitä vastaan

Materiaali	Patruuna	Patruunan läpäisevyys	Muuta
CLT (300 mm)	7.62x39	läpi	
	223rem	melkein läpi	Patruuna on rikkonut puun pinnan - ei ole tullut läpi asti.
	9 mm	127 mm	
	9 mm	127 mm	
	9 mm	146 mm	
	308win	läpi	

Taulukkoon 12 on kirjattu CLT:n läpäisevydet puun syitä vastaan. Taulukon 13 pylväsdiagrammi hahmottelee tarkemmin eri patruunoiden läpäisevyyksiä. Jokaiselle patruunalle on oma värinsä.

Vasemmalle sivuun on kirjattu patruuna sekä alhaalla on millimetri määrä, jonka patruuna läpäisee.

Taulukko 13. CLT - Läpäisevyydet



## 9.4 Vertailu

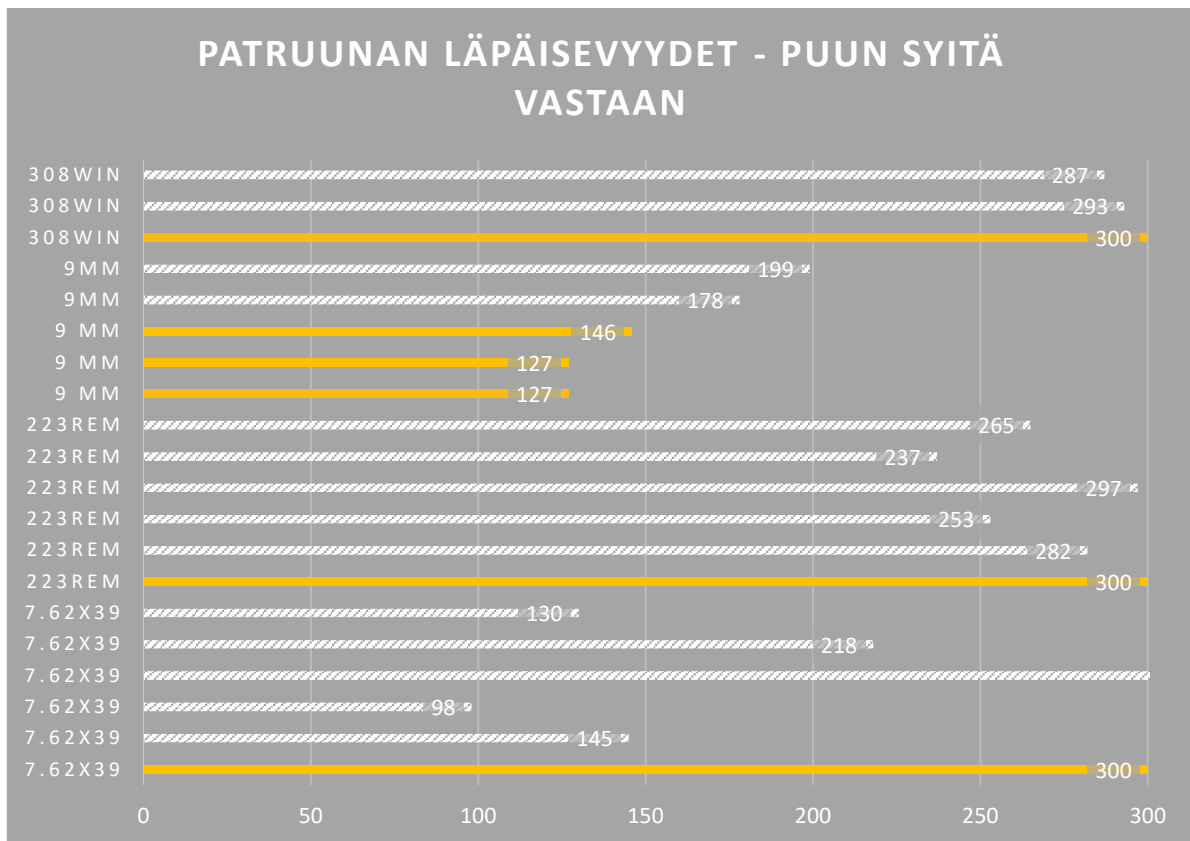
Vertaillaan patruunoiden läpäisevyyksiä liimapuulle sekä CLT-kappaleelle. Puun syyn suuntaa vastaan liimapuun paksuus on 540 mm ja CLT:n 300 mm. Puun syiden suuntaisesti liimapuun paksuus on 1000 mm ja CLT:n 995 mm. Tarkastellaan tarkemmin 300 mm matkalta molempia materiaaleja.

### 9.4.1 Puun syitä vastaan

Rynnäkkökiväärillä ammutuista laukauksista yksi meni suoraan läpi liimapuusta. Muut laukaukset jäivät alle 300 mm. Neljä muuta laukausta jäivät huomattavasti kauemmaksi. Metsästyskiväärillä ammutut laukaukset (patruuna 308win) läpäisivät puuta lähes saman verran. Pistoolien molemmat laukaukset olivat lähellä toisiaan. Samoin kiväärin (patruuna 223rem) laukaukset olivat 50 mm sisällä toisistaan.

CLT oli paksuudeltaan 300 mm. Metsästyskiväärin sekä rynnäkkökiväärin patruuna läpäisi materiaalin kokonaan. Kiväärin patruuna rikkoi puun pinnan, mutta ei läpäissyt materiaalia kokonaan. Pistoolin laukaukset 25 metristä läpäisivät materiaalia vajaan 150 mm verran.

Taulukko 14. Patruunan läpäisevyydet - puun syitä vastaan



Taulukkoon 14 merkityt keltaiset viivat tarkoittavat CLT:n läpäisevyyksiä. Valkoisella merkityt viivat esittävät liimapuun läpäisevyyksiä. Ammuntojen perusteella voidaan sanoa, että liimapuu on puun syitä vastaan kestävämpi 300 mm paksuudella kuin CLT. Liimapuun laukaukset jäivät yhtä rynnäkkökiväärin laukausta huolimatta alle 300 mm. Pistoolin laukaukset eivät läpäisseet CLT:tä muiden laukausten tavoin.

Taulukko 15. Yhteenvetotaulukko - Puun syitä vastaan

Materiaali	Patruuna	Patruunan läpäisyvyvyys	Muuta
Liimapuu (540 mm)	7.62x39	145 mm	
	7.62x39	98 mm	
	7.62x39	läpi	
	7.62x39	läpi	alhaalta läpi, 166 mm kohdalta
	7.62x39	218 mm	
	7.62x39	130 mm	
CLT (300 mm)	7.62x39	läpi	
Liimapuu (540 mm)	223rem	282 mm	
		253 mm	
		297 mm	
		237 mm	
		265 mm	
CLT (300 mm)	223rem	melkein läpi	Luoti on rikkonut puun pinnan, mutta ei ole tullut läpi asti.
Liimapuu (540 mm)	9 mm	178 mm	
		199 mm	
CLT (300 mm)	9 mm	127 mm	
	9 mm	127 mm	
	9 mm	146 mm	
Liimapuu (540 mm)	308win	293 mm	
		287 mm	
CLT (300 mm)	308win	läpi	

YouTube -kanavalla Top Shot Dustin ammutaan tuoreeseen puuhun. Kokeessa käytetään samaa patruunaa kuin työn ammuntakokeessakin. Patruuna on 308win. Videolla huomataan, että laukukset menevät puusta läpi. Monien laukauksien jälkeen puu lopulta kaatuu. Videossa ammuttava puu on noin 300 mm paksu. (308 ODIN VS TREE, 2020.) Työn ammuntakokeessa yksi 308win

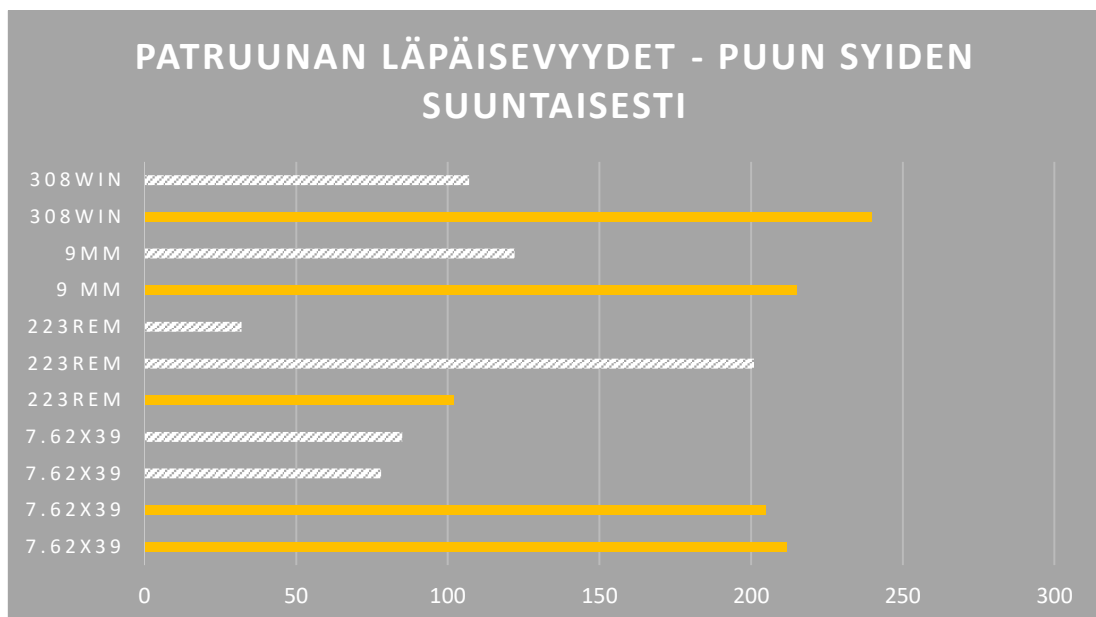
ammutuista laukauksista meni suoraan läpi CLT:stä. Liimapuussa laukaukset jäivät 293 mm ja 287 mm. Videon ja ammuntakokeen tuloksia vertailtaessa huomataan se, että laukaukset läpäisevät puun. Videolta voidaan myös huomata se, että mitä enemmän laukauksia ammutaan, sitä helpommin patruuna läpäisee materiaalin. Väestönsuojia suunniteltaessa on huomioitava. Mitä enemmän laukauksia ammutaan puuhun, sitä enemmän se syö materiaalia. Materiaalin on kestettävä sille asetetut vaatimukset.

#### 9.4.2 Puun syiden suuntaisesti

Puun syiden suuntaisesti läpäisevyydet ovat jääneet alle 250 mm molemmilla materiaaleilla. Ammuntojen perusteella liimapuu on kestävämpää ampuma-aseita vastaan. Liimapuuhun ammutut laukaukset metsästyskiväärin, rynnäkkökiväärin ja pistoolin osalta jäivät merkittävästi alle 150 mm läpäisevyydeltä. Kiväärin osalta toinen laukaus läpäisi 201 mm liimapuuta. CLT:n kohdalla kivääri läpäisi materiaalia vähiten. Muut laukaukset ovat läpäisseet materiaalia yli 200 mm. Kiväärin laukaus on jäänyt 102 mm.

Taulukkoon 16 merkityt keltaiset viivat tarkoittavat CLT:n läpäisevyyksiä. Valkoisella merkityt viivat esittävät liimapuun läpäisevyyksiä. Taulukosta 16 huomataan, että patruunat läpäisevät liimapuuta 100 mm vähemmän, kun verrataan samaa patruunaa CLT:n ja liimapuun kohdalla.

Taulukko 16. Patruunan läpäisevyydet - puun syiden suuntaisesti



Taulukko 17. Yhteenvetotaulukko - puun syiden suuntaisesti

Materiaali	Patruuna	Patruunan läpäisyvyvyys	Muuta
Liimapuu (1000 mm)	7.62x39	78 mm	
	7.62x39	85 mm	
CLT (995 mm)	7.62x39	212 mm	Osu lautaan, joka on vastaisesti
	7.62x39	205 mm	
Liimapuu (1000 mm)	223rem	201 mm	
		32 mm	
CLT (995 mm)	223rem	102 mm	
Liimapuu (1000 mm)	9 mm	122 mm	
CLT (995 mm)	9 mm	215 mm	
Liimapuu (1000 mm)	308win	107 mm	
CLT (995 mm)	308win	240 mm	

## 10 Pohdinta

Biopohjaiset materiaalit vaativat vielä lisätutkimuksia, jotta mahdollinen väestönsuoja päästään rakentamaan. Teräsbetonisuojat halutaan korvata kevyemmällä ja luontoa säästävillä ratkaisulla. Biopohjaiset materiaalit ovat erinomainen vaihtoehto siihen. Tällä hetkellä ei olla siinä pisteessä, että biopohjaisia materiaaleja voidaan käyttää yksin väestönsuojan materiaalina. Käyttökohteita suojille löytyy, kunhan suojista saadaan mahdollisimman turvallisia käyttötarkoitukseensa.

Ennakkotapauksia aiheen osalta ei juurikaan ollut, joten oli löydettävä selkeä päämäärä, jota kohti kulkea. Vähäinen tutkimustieto antoi vapauksia lähteä tutkimaan aihetta oman mielenkiinnon mukaan. Työn kokeellinen osuus suoritettiin ammutakokeena. Ammutakoe oli mielenkiintoinen toteuttaa. Sen avulla sai myös selkeän käsityksen siitä, että ammutakokeessa käytettävät puumateriaalit eivät riitä sellaisenaan väestönsuojan vaipparakenteeksi. Puumateriaalia jäi myös vielä testaamatta. Ammutakokeista olisi saanut vieläkin laajemmat, mutta työ olisi laajentunut entisestään.

Kansainvälisiä tutkimuksia työhön liittyen löysin muutamia. Lin Shao Yu Hawajin Yliopistosta on tehnyt tutkimuksia biopohjaisten materiaalien ominaisuuksista ja kestävydestä. Tutkimuksissa analysoitiin mekaanisia, lämpötilaan liittyviä ja biologisia ominaisuuksia, jotta voidaan verrata niiden soveltuvuutta käytäntöön. (War shelter Inspired by nature, 2011.) Samanlaisia kokeita vaaditaan Suomessakin, jotta voidaan varmistua väestönsuojien kestävän. Mekaaniset testit suoritettiin standardisoiduilla laitteilla. Materiaalit altistettiin erilaisille voimille, kunnes ne murtuivat. Lämpöä ja kosteutta arvioitiin materiaalinäytteiden avulla. Materiaaleja pidettiin erilaisissa lämpötiloissa ja kosteuksissa tietyn ajan. Biologisten hajoavuustestien osalta materiaalit altistettiin maaperän ja veden vaikutuksille. Materiaalin hajoamisnopeutta ja muita vaikutuksia seurattiin. (mt.) Muiden tekemistä testeistä on hyvä ottaa mallia sekä opiksi. Kokeiden tarkoitus on antaa mahdollisimman paljon informaatiota, jotta saavutetaan laadukas lopputulos.

Toimeksiantajan kanssa käytyjen keskustelujen myötä, sain punaisesta langasta kiinni ja työn suuntaviivat hahmottuivat. Työn kirjoittamisen aikana erityisesti ammuntakokeen materiaaleja pohdin pitkään. Ajattelin kuitenkin kysyä liimapuun ja monikerroslevyn valmistajilta, että onnistuisiko heidän materiaalien käyttäminen ammuntakokeissa. Ammuntakoetta varten saatiin materiaalit. Ammuntakokeiden tuloksien kannalta on tärkeää, että materiaalit ovat sellaisia, joita mahdollisesti voidaan käyttää väestönsuojissa.

Työssä korostetaan kestävästä kehitystä rakennusmateriaaleissa ja erityisesti väestönsuojien kohdalla. Vastuullinen kuluttaminen sekä ympäristöystävälliset valinnat ovat osa eettisyyttä. Monet yritykset ovat ottaneet kantaa ja tekevät ympäristön näkökulmasta kestäviä valintoja. Aineistoja etsiessä oli ilo huomata, että monet yritykset käyttävät paljon resursseja kohti kestävämpiä ratkaisuja. Eettisyys näkyy muun muassa ympäristövastuuna, lainsäädännön noudattamisena, vastuullisena liiketoimintana sekä innovaatioiden näkökulmasta.

Tietoa oli etsittävä yksittäisistä lähteistä, joista löytyi pieni pala tietoa aiheesta. Koen löytäneeni työhöni sopivat ja luotettavat lähteet. Monet lähteet olivat muutamia vuosia vanhoja. Osa lähteistä oli jopa yli kymmenen vuotta vanhoja – esimerkiksi tieto CBRN-aineista. Niiden tieto ei ole kuitenkaan vuosien saatossa muuttunut.

Materiaalien hankinnan osalta olisin saanut olla vielä itse hieman aktiivisempi. Jäin liikaa miettimään, että ovatko kotoa löytyvät materiaalit sopivia. Alusta lähtien olisi pitänyt olla vielä tarkemmat suuntaviivat materiaalien kanssa. Olisi pitänyt olla jo aiemmin yhteyksissä valmistajiin ja antaa määreitä, milloin materiaalia tarvitaan.

## 10.1 Mahdollisia käyttökohteita

Hybridiratkaisu saattaa olla seuraava askel kohti ympäristöystävällisiä väestönsuojia. Mayr Melnhof Holz -yrityksellä on muun muassa puu-betoniyhdistelmäelementti, jonka avulla saadaan pienennettyä betonin määrää rakenteissa. Mikä suoraan vähentää rakentamisessa muodostuvaa ympäristön kuormitusta, kun betonin määrää saadaan vähennettyä. Hybridimallia on syytä tarkastella lisää ja voisiko siinä olla seuraava askel kohti viihtyisämpiä väestönsuojia. Betoni materiaalina on kestävämpää esimerkiksi puuhun verrattuna. Puumateriaali väestönsuojan sisäpuolella taas lisää materiaalina viihtyvyyttä, kuin perinteinen betonipinta. Hybridiratkaisuissa puumateriaali saisi olla myös ulkopinnoissa. Betoni kovana rakenteena johtaa siihen, että patruunat kimpoavat sen pinnasta osuessaan siihen. Kimpoamisen seurauksena voi tulla vaaratilanteita, koska patruunoiden lentorata muuttuu arvaamattomasti. Pahimmassa tapauksessa voi aiheuttaa enemmän tuhoa sivullisille. Väestönsuojan ulkokuoressa on tämän takia hyvä olla jotakin pehmeämpää materiaalia.

Moduulirakentaminen on nykypäivää ja yhä nopeammin halutaan saada rakennukset valmiiksi jo tehtaalla. Väestönsuojilta vaaditaan paljon, jotta ne ovat tarpeeksi kestäviä tarkoitukseensa. Biopohjaisten väestönsuojien moduulit tai koko väestönsuoja on hyvä rakentaa sisätiloissa tai ainakin hyvin säältä suojassa. Valmiit moduulit helpottavat väestönsuojien nopeaa kasaamista. Moduulista rakennettujen biopohjaisten väestönsuojien avulla saadaan lisättyä nopealla aikataululla väestönsuojien määrää.

Armeijassa on komentopaikkoja tai muita teletiloja, jotka tarvitsevat suojaa. Tilat voitaisiin korvata osittain biopohjaisilla väestönsuojilla. Armeijassa käytetään komentopaikkoina muun muassa kontteja tai ilmalla täytettäviä teltoja. Moduuleista kasattu biopohjainen väestönsuoja olisi viihtyisämpi vaihtoehto kontin tai teltan tilalle. Moduuli voitaisiin integroida osaksi kuorma-auton vaihtolavaa. Moduuli on mahdollista laskea kuorma-auton päältä. Tässä yhteydessä ei voida puhua

suoraan väestönsuojasta, mutta tilapäissuojana vaihtolava ratkaisu saattaa olla toimiva. Komentopaikat ovat kriittisiä paikkoja kriisin aikana. Biopohjaisista materiaaleista saadaan varmasti myös armeijalle toimiva ratkaisu suojaksi.

Ukrainan sodan myötä dronet ovat merkittävä osa sodankäyntiä, joka on näkynyt uutisissa. Puumateriaaleista valmistettu suoja toimii hyvin drone-lämpökameroita vastaan. CLT ja liimapuu ovat hyvin lämpöä eristäviä, joten lämpökamera ei todennäköisesti pysty havaitsemaan puumateriaaleista tehtyä suojaa. Materiaalit ovat myös hyvin tiiviitä, joten lämpövuotoja ei juurikaan synny. Mielestäni biopohjaisten materiaalien käyttöä puolustustarkoituksessa on hyvä tarkastella. Hirrestä valmistetut korsut ovat toimineet jo aiempien sotien aikana suojina rintamalla. Biopohjaisista materiaaleista valmistettava suoja olisi tästä kehitysaskel eteenpäin.

Väestönsuojia on siellä missä on ihmisiäkin. Mielestäni biopohjaisia väestönsuojia pitäisi löytyä esimerkiksi jalkapallokenttien tai yleisurheilukenttien läheltä. Rauhan aikana suojat toimisivat esimerkiksi pukukoppeina tai varastoina. Kriisin aikana, jos suojia tarvitaan, moduulit ovat helppo muuttaa väestönsuojiksi. Suojat löytyvät sieltä, missä ihmisetkin viihtyvät.

## 10.2 Tutkimuksen toteuttaminen ja havainnot

Tutkimuksen tärkeintä antia ovat ammutakokeet, jotka antavat suuntaa seuraaville toimenpiteille. Puumateriaalien on tarkoitus olla osana väestönsuojan vaipparakennetta. Muut biopohjaiset materiaalit täydentävät sitä, jotta saadaan mahdollisimman toimiva kokonaisuus.

Puiden syyn suuntaisesti tai vastaan ammuttaessa on huomattavia eroja. Puun syiden suuntaisesti ammuttaessa, patruunat eivät läpäise materiaalia yhtä tehokkaasti. Mahdollista biopohjaista väestönsuojaa ajatellen puun syiden suuntaa on hyvä tarkastella kriittisesti. Vaipparakenteen osalta puumateriaalit kannattaa asettaa mahdollisten tulevien laukausten kanssa saman suuntaisesti.

Laukauksia olisi voinut ampua vieläkin enemmän ja erilaisiin materiaaleihin. Osa ammutuista laukauksista meni myös ohi materiaaleista. Aseet oli kohdistettu pidemmälle matkalle, joten materiaaleihin osuminen tuotti toisinaan haasteita. Tuloksien avulla pystytään kuitenkin havainnollistamaan se, että kokeissa käytettävät puumateriaalien paksuudet eivät ole riittäviä kaikkia aseita vastaan. Ammuntamatka oli kivääreille 50 metriä, joka antaa mahdollisimman realistisen kuvan

puun läpäisevyydestä. Käsiaseen eli pistoolin kohdalla pudotettiin matka 25 metriin, koska aseensa kantama ei ole sama kuin kivääreillä. Ammuntatarkkuus olisi kärsinyt pistoolin kohdalla huomattavasti, jos oltaisiin, ammuttu 50 metristä. Tuloksia vertailtaessa huomataan, että liimapuu on kestävämpi materiaali näiden ammuntatulosten perusteella.

Ammuntakoe suoritettiin sekä selvitettiin erilaisten biopohjaisten materiaalien soveltuvuutta osaksi väestönsuojia. Ammuntakokeita on hyvä suorittaa tulevaisuudessa lisää. Muitakin kokeita tarvitaan, kuten säteilytutkimuksia, myrkyllisiltä aineilta suojautumista sekä sortumisilta estämistä. Tuloksien pohjalta voidaan todeta, että tutkimuksia tarvitaan vielä paljon. Liimapuun tulokset ylättivät kuitenkin positiivisesti. Omien ennakkopäätelmien perusteella ajattelin monikerroslevyn olevan kestävämpää ammuntojen perusteella. Ammuntakokeissa oli tärkeää olla vertailun kohteena kaksi erilaista materiaalia. Näin saadaan vertailtua tuloksia keskenään. Saatiin jopa erilaisempia tuloksia, joita ennakoon ajattelin. Syyn suuntaisesti oli jo selvää, että patruunat eivät läpäise materiaalia yhtä paljon kuin syyn syitä vastaan.

Työssä on todella paljon erilaisia lähteitä. Aiheeseen liittyen oli todella vaikea löytää mitään yksittäistä tietolähdettä, josta olisi saanut kattavasti tietoa aiheeseen liittyen. Lakitekstit antoivat työlle varsinaista tietoperustaa lakien ja asetusten muodossa. Asiantuntijoiden lausunnot sähköpostitse olivat myös hyvä lisä lähdeaineistoksi. Viestit eivät sellaisenaan ole hyvä lähde ja niitä on hyvä tarkastella kriittisesti. Osa vastauksista kuitenkin viittasi lakeihin, joten tietoperusta on kunnossa. Vastaukset saivat omia ajatuksiani työn suhteen miettimään kriittisesti. Erilaisten biopohjaisia materiaaleja valmistavien yritysten sivuilla kävin tutustumassa tuotteisiin. Yritysten sivustoja käytin paljon lähdeaineistona. Yritysten sivujen lähteiden kanssa pitää olla hieman tarkkana. Yritykset pyrkivät myymään tuotteitaan, joten kaupallisuus on suuressa osassa. Rakennusmaailmaan kuuluvat puolueettomat lähteet olivat mieluisia lähteitä. Puuinfon sivuilta löysin paljon tietoa puumateriaaleista, samoin betonilehden sivuilla oli hyvin kattavasti kerrottu betonin päästöistä. Käytin joidakin kansainvälisiä lähteitä. Haaste kansainvälisissä lähteissä on niiden oikein tulkitsevuus. Ymmärtää asian niin kuin se on kirjoitettu. Niiden luotettavuutta on hieman haastavampi todistaa. Kokonaisuutena voi todeta, että lähteet olivat työhön sopivia ja luotettavia. Lähteistä löytyi riittävästi tietoa, jotta sain työn toteutettua. Jokaisesta lähteestä löytyi kuitenkin pieni pala tietoa, joita yhdistelemällä saatiin tietoperusta kokoon.

### 10.3 Jatkokehitys

Jatkokehitystä tarvitaan vielä merkittävästi, jotta saadaan kaikin tavoin toimiva ratkaisu biopohjaisista materiaaleista osana väestönsuojia. Haastavinta kehittämistyössä tulee olemaan vaipparakenteen tekniset vaatimukset väestönsuojissa. Saadaanko puusta tarpeeksi lujaa ja kestäväää, jotta se toimii väestönsuojan vaipparakenteena.

Puumateriaalien materiaalikoostumuksia on hyvä tutkia, jotta ne saadaan optimoitua kestävimiksi. Paloturvallisuutta on myös hyvä parantaa. Vaikka CLT ja liimapuu eivät ole puumateriaaleista helpoiten palavia. Se ei ole kuitenkaan riittävä peruste rakentaa väestönsuojia näistä materiaaleista tällä hetkellä. Kosteuden ja mikrobien hallintaan on hyvä ottaa kantaa ja tarkastella. Asennetaanko biopohjaiset väestönsuojat maan alle vai ovatko maan päällä. Suojia on tarkasteltava eri tavalla.

Monissa materiaalivalinnoissa on hyvä mennä kohti biopohjaisia ja ympäristöystävällisiä vaihtoehtoja. Toisinaan on hyvä pysähtyä ja katsoa ajassa taaksepäin. Hirsirakentaminen on satoja vuosia vanha rakennusmateriaali. Sodassa rakennettiin myös korsuja suojiksi, jotka rakennettiin hirrestä. Rakennuskannassa on tehty hyviä ja kestäviä valintoja jo satoja vuosia sitten. Niitä on hyvä pohtia. Samoin luonto antaa mahtavia rakennusmateriaaleja ja ideoita. Luontoa kannattaa ja pitää tulevaisuudessa hyödyntää yhä paremmin -kestävät ja ympäristölle suotuisat valinnat edellä.

Teollisuuden sivuvirroista saadaan paljon biopohjaisia materiaaleja osaksi rakennustuotantoa. Ligniini on hieno esimerkki materiaalina siitä, että sillä voidaan korvata fossiilisia fenoleja. Sitä esiintyy puiden soluseinämässä. Eristemateriaalien hartseja voidaan korvata ligniinillä, jolloin tuotteista saadaan yhä ympäristöystävällisiä. Pienetkin harppaukset kohti ympäristöystävällisempää rakentamista ovat tervetulleita. Pitkällä tähtäimellä muutosta saadaan enemmän aikaiseksi pienin askelin kuin kovin suurin harppauksin. Tuntuu mielekkäämmältä tehdä usein uusia pienempiä innovaatioita kuin kerran suuria.

Luonto on hyvin monimuotoinen ja luonto osaa sopeutua hyvin nopeasti muutokseen. Luonnosta monet keksinnöt ja ideat ovat saaneet alkunsa. Lapsen uteliaisuudella kohti uusia innovaatioita. Joskus asiat eivät mene purkkiin ensimmäisellä tai ei ehkä äärettömänkään kerran jälkeen. Lopulta uuden innovaation myötä luonto kiittää sekä ihmiset.

Lähes kaikilla tuotteilla on jonkinlaiset standardit. Tulevaisuudessa valmistajilta olisi hyvä vaatia muodossa tai toisessa biopohjaisten materiaalien valmistamista. Tuotteiden ei tarvitse olla kokonaan biopohjaisia. Osa materiaalin raaka-aineista olisi hyvä korvata biopohjaisilla materiaaleilla. Näin saadaan pusketta valmistajia kohti ympäristöystävällisiä ratkaisuja.

### **10.3.1 Toimeksiantajalle**

Toimeksiantajalla AttoVerde Oy:llä on tärkeä tehtävä kertoa ja tuoda Suomeen biopohjaisia materiaaleja maailmalta. Suomessa biopohjaisten materiaalien valmistus ja käyttö on aika pientä muuhun maailmaan verrattuna. Tarvitaan suunnannäyttäjiä, jotka näyttävät tietä. AttoVerde Oy tekehdellä monipuolista työtä paremman ja kestävämmän yhteiskunnan eteen. Jatkaa tärkeää työtä, mitä teette. Soraääniä kuuluu sunnasta, jos toisestakin, mutta sen ei anneta lannistaa. Tämän työn osalta saatte työhönne kenties uutta näkökulmaa.

Mahdollisesti työn avulla voitte ottaa seuraavan askeleen kohti biopohjaisia väestönsuojia. Matkaa on vielä paljon taitettavaksi, pienin askelin kohti seuraavia tavoitteita.

### **10.3.2 Yhteiskunnallisesti**

Maailmalla otetaan suurempia harppauksia kohti kestävämpää rakentamista kuin Suomessa. Lähes kaikki biopohjaiset materiaalit, joita rakennusalaan liittyen löysin ovat Suomen ulkopuolelta. Suomessa ei ehkä uskalleta ottaa samalla tavalla riskejä kuin muualla maailmassa. Rakennusallalla on myös töissä paljon sellaista ikäpolvea, että tehdään asiat vanhojen tapojen mukaan. Tähän kulttuuriin on hyvä saada muutosta ja herättelyä. Työkoneita on paljon jo sähköistetty, mutta rakennusmateriaaleissa ei ole näkynyt niin suurta muutosta kuin koneiden osalta.

Yritysten on hyvä katsoa välillä pois kuplan ulkopuolelta ja nähdä miten muualla asiat tehdään. Keski-Euroopassa on monia yrityksiä, jotka tekevät biopohjaisia materiaaleja ja ovat olleet jo pitkään toiminnassa. Ei vain väestönsuojien osalta vaan muuhunkin rakentamiseen on hyvä vaihtaa ympäristöystävällisiä vaihtoehtoja. Tämä vaatii pienen vaivan selvittää, mutta lopussa varmasti kiitos seisoo. Materiaalien ei tarvitse olla kokonaan biopohjaisia, mutta edes joitakin prosentteja materiaaleista on hyvä korvata ympäristöystävällisillä vaihtoehdoilla.

Biopohjaisten materiaalien vertailussa huomataan, että materiaalit ovat yhtä toimivia teknisesti kuin perinteisetkin rakennusmateriaalit. Helposti käytetään tavanomaisia rakennusmateriaaleja, koska niitä on helposti saatavilla rakennusliikkeista. Voidaan kuitenkin todeta, että ei ole mitään syytä karttaa biopohjaisia materiaaleja. Niiden käyttäminen vaatii aluksi ehkä pientä uskallusta. Lumipalloefektinä biopohjaisten materiaalien käyttöä saadaan varmasti kasvatettua. Materiaalien käyttämisestä on vain puhuttava enemmän. Lumipallon lailla joku toteaa materiaalin hyväksi ja suosittelee toiselle. Näin saadaan aloitettua uusi aikakausi biopohjaisten materiaalien käytössä.

## Lähteet

.223 Remington. 2023. Tietoa aseiden patruunasta. Waffenlager www-sivuilla. Viitattu 22.3.2025.

<https://waffenlager.net/ammo/223rem.html>

7.62x39. 2023. Tietoa aseiden patruunasta. Waffenlager www-sivuilla. Viitattu 22.3.2025.

<https://waffenlager.net/ammo/762x39.html>

9x19 mm Parabellum. Tietoa aseiden patruunasta. Waffenlager www-sivuilla. Viitattu 22.3.2025.

<https://waffenlager.net/ammo/9x19pb.html>

Agosti Nanotherm Srl over 30 years of experience. 2025. Tietoa yrityksestä www-sivuilla Nobilium.

Viitattu 13.3.2025. <https://nobiliumthermalpanel.it/en/who-we-are/>

Betoni-lehti. N.d. Artikkeleita Betoni-lehden sivuilta. Viitattu 21.2.2025. <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/sementti-seosaineiden-kaytto/>

Betoni-lehti. N.d. Artikkeleita Betoni-lehden sivuilta. Viitattu 21.2.2025. <https://betoni.com/perustie-topaketti/ekologisuus/betonirakenteen-ekotehokkuus/>

Biopohjaiset antiviraaliset ratkaisut metsistä. Video. Luonnonvarakeskus. Youtube-videopalvelu.

Julkaistu 20.1.2022. Viitattu 19.2.2025. [https://www.youtube.com/watch?v=u21YN-](https://www.youtube.com/watch?v=u21YN-QVtDPI#msdyntrid=KwvXzB3yBtluR2eP9MVSqx988UE-N7wQZ51Ywbz3UQg)

[QVtDPI#msdyntrid=KwvXzB3yBtluR2eP9MVSqx988UE-N7wQZ51Ywbz3UQg](https://www.youtube.com/watch?v=u21YN-QVtDPI#msdyntrid=KwvXzB3yBtluR2eP9MVSqx988UE-N7wQZ51Ywbz3UQg)

CLT materiaalina. N.d. Crosslam Oy. Viitattu 10.2.2025 <https://crosslam.fi/clt-materiaalina/>

CLT-suunnittelun ohje. 2022. CrossLam Oy. Viitattu 10.2.2025. <https://crosslam.fi/wp-content/uploads/2022/10/clt-suunnittelun-ohje.pdf>

Diathonite Acoustix+. N.d. Tuotekuvaus. Viitattu 21.2.2025. <https://www.diasen.com/wp-content/uploads/2023/05/ST140EN23151811-Diathonite-Acoustix.pdf>

Elinkaariajattelu. 2017. Uutinen Sitran www-sivuilla. Julkaistu 2.11.2017. Viitattu 27.4.2025.

<https://www.sitra.fi/artikkelit/elinkaariajattelu/>

Hirsirakentaminen – kiertotaloutta vuosisatojen takaa. 2022. Artikkelin Puuinfo Oy www-sivuilla 24.5.2022. Viitattu 22.2.2025. <https://puuinfo.fi/2022/05/24/hirsirakentaminen-kiertotaloutta-vuosisatojen-takaa/>

Hirsityypit ja perusprofiilit. 2020. Puuinfo Oy. Vastuullinen suomalainen puukäytön edistäjä. Viitattu 22.2.2025. <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/materiaalivaihtoehdot/>

Häyrinen, J. 2025. Ajatuksia opinnäytetyön aiheesta. Sähköpostiviesti 17.1.2025. Vastaanottaja A. Lähteenmäki. Puolustusylitarkastaja Sisäministeriöstä, näkemyksiä väestönsuojien tekniisiin vaatimuksiin liittyen. Viitattu 24.3.2025.

Karjalainen, M. 2025. Ajatuksia opinnäytetyön aiheesta. Sähköpostiviesti 15.1.2025. Vastaanottaja A. Lähteenmäki. Tampereen Yliopiston professorin (rakennusoppi), Tkt, arkkitehti - näkemyksiä väestönsuojien tekniisiin vaatimuksiin liittyen. Viitattu 24.3.2025.

Kestävä kehitys. N.d. Kestävän kehityksen – Agenda 2030. Viitattu 21.2.2025. <https://www.ykkliitto.fi/kestava-kehitys>

Kestävän kehityksen keskeiset käsitteet. 2025. Artikkelin kestävistä kehityksestä Opetushallituksen www-sivuilla. Viitattu 21.2.2025. <https://www.oph.fi/fi/opettajat-ja-kasvattajat/kestavan-kehityksen-keskeiset-kasitteet>

Kestävät biopohjaiset materiaalit. 2025. Tietoisku VTT:n www-sivuilla. Viitattu 27.2.2025. <https://www.vttresearch.com/fi/palvelut/kestavat-biopohjaiset-materiaalit>

Knoflach, S & Barnas, A. 2022. The Timber-concrete-composite element. Tietoa tuotteesta. Viitattu 15.3.2025. [https://www.mm-holz.com/fileadmin/Bilder/Service/Broschueren/MMK-Handbuch\\_EN\\_2022\\_v3d\\_digital.pdf](https://www.mm-holz.com/fileadmin/Bilder/Service/Broschueren/MMK-Handbuch_EN_2022_v3d_digital.pdf)

Koivukoski, J. 2025. Ajatuksia opinnäytetyön aiheesta. Sähköpostiviesti 13.1.2025. Vastaanottaja A. Lähteenmäki. Tutkija, FT, Pelastusopisto näkemyksiä väestönsuojien tekniisiin vaatimuksiin liittyen. Viitattu 24.3.2025.

Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. N.d. Tietoarkiston www-sivuilla. Viitattu 29.4.2025.

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/>

Laaksonen, A. 2025. Ajatuksia opinnäytetyön aiheesta. Sähköpostiviesti 15.1.2025. Vastaanottaja A. Lähteenmäki. Tampereen Yliopiston apulaisprofessori, Rakennetekniikka, betoni- ja siltarakenteet - näkemyksiä väestönsuojien teknisiin vaatimuksiin liittyen. Viitattu 24.3.2025.

Lehtinen, A. 2022. Asiantuntija, viestintä ja yhteiskuntasuhteet. Monta syytä kiristää vauhtia kohti kiertotaloutta – työpaperi esittelee 10 seuraavaa askelta. Uutinen Sitran www-sivulla 14.6.2022.

Viitattu 26.2.2025. <https://www.sitra.fi/aiheet/kiertotalous/>

Ligniini. 2025. Ligniini tuotokuvaus ja käyttökohteet. StoraEnso. Viitattu 3.3.2025. <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/lignin>

Liimapuu. 2020. Puuinfo Oy. Vastuullinen suomalainen puukäytön edistäjä. Julkaistu 23.6.2020. Viitattu 10.2.2025. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööri tuotteet/liimapuu-glt/>

Liimapuulla kevyttä kantavuutta rakentamiseen. 2025. VersoWodiin www-sivuilla tietoa liimapuusta. Viitattu 27.4.2025. <https://www.versowood.fi/fi/tuotteet/liimapuu>

Luusua, H., Määttänen P., Finnilä, M., Seppä, A., Lempinen, E. & Lampinen, T. 2013. Taistelijan opas. Viitattu 7.1.2025. <https://puolustusvoimat.fi/documents/1948673/2258487/PEVIESTOS-Taistelijan-Opas-2013.pdf>

Nobilium Thermapanel. N.d. Tuotokuvaus www-sivuilla Nobilium. Viitattu 13.3.2025. <https://nobiliumthermalpanel.it/wp-content/uploads/2025/02/2412-EN-Nobilium-brochure-01-2025.pdf>

Olemme uusiutuvan materiaalin yhtiö. 2025. StoraEnso. Viitattu 10.2.2025. <https://www.storaenso.com/fi-fi/>

PaiBiRa – Paikalliset biopohjaiset rakennusmateriaalit. 2025. Uutinen Metsäkeskuksen www-sivuilla hankkeesta. Viitattu 26.2.2025. <https://www.metsakeskus.fi/fi/hankkeet/paibira-paikalliset-biopohjaiset-rakennusmateriaalit>

Paluumatka tulevaisuuteen. 2025. Diasenin tarina www-sivuilla. Viitattu 5.3.2025.

<https://www.diasen.com/fi/historia/>

Paroc. N.d. Paroc Figra 170T tuotekuvaus. Viitattu 21.2.2025. <https://www.paroc.com/fi-fi/products/paroc-figra-170t#tekniset-tiedot-ja-kirjallisuus>

Pelastuslaki 379/2011. Laki väestönsuojien rakentamisvelvollisuuteen. Annettu 29.4.2011. Viim. muutos 21.4.2023. Viitattu 21.2.2025. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>

Pellikka, R. 1996. Tilapäisen väestönsuojan kunnostamisopas. Suomen pelastusalan keskusjärjestön julkaisu. Julkaistu 15.8.1996. Viitattu 15.3.2025. [https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2025/03/Tilapaisen vaestonsuojan kunnostamisopas.pdf](https://www.spek.fi/wp-content/uploads/2025/03/Tilapaisen_vaestonsuojan_kunnostamisopas.pdf)

Puurakenteiden palomitoitus. 2018. Vaativien puurakenteiden suunnittelu. Puuinfo Oy suomalaisen vastuullisen puukäytön edistäjä. Viitattu 14.3.2025. [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/30 Puurakenteiden-palomitoitus.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/30_Puurakenteiden-palomitoitus.pdf)

Puurakenteissa hiili säilyy pitkään. 2020. Puuinfon www-sivuilla. Julkaistu 23.6.2020. Viitattu 27.4.2025. <https://puuinfo.fi/puutieto/ymparistovaikutukset/puurakenteissa-hiili-sailyy-pitkaan/>

Rajajärvi, P.2025. Ajatuksia opinnäytetyön aiheesta. Sähköpostiviesti 14.1.2025. Vastaanottaja A. Lähteenmäki. Rakennusneuvoksen näkemyksiä väestönsuojien teknisiin vaatimuksiin liittyen. Viitattu 24.3.2025.

Rakennusosien ja tarvikkeiden luokat. 2024. Ilmanvaihtolaitoksen paloturvallisuus -opas. Talotekniikka info. Julkaistu 11.6.2024. Viitattu 14.3.2025. <https://talotekniikkainfo.fi/ilmanvaihtolaitosten-paloturvallisuus-opas/54-rakennusosien-ja-tarvikkeiden-luokat>

Rakentamislaki 751/2023. Laki rakennusten, rakennuskohteiden suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä. Annettu 21.4.2023. Viim. muutos 1.1.2025. Viitattu 22.2.2025. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2023/20230751>

Reliable, passionate & sustainable. 2021. Tietoa yritystä www-sivuilla Mayr Melnhof Holz. Viitattu 15.3.2025. <https://www.mm-holz.com/en/about-us/company>

RT 103732. 2024. Rakennusten kosteustekninen toimivuus. Ympäristöministeriön ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 27.4.2025 <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103732> , RT-kortisto.

RT 92-11173. 2015. S1-luokan teräsbetoniväestönsuoja. RT-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 28.1.2025. <file:///C:/Users/annil/Downloads/RT-92-11173.pdf> , RT-kortisto.

Sementin valmistus on suurin ihmisen aiheuttamien CO<sub>2</sub>-päästöjen lähde – Teollisuuden jätteistä voidaan valmistaa betonia, joka ei sisällä ollenkaan sementtiä. 2024. Uutinen Oulun Yliopiston www-sivuilla 19.6.2024. Viitattu 21.2.2025. <https://www oulu.fi/fi/uutiset/sementin-valmistus-suurin-ihmisen-aiheuttamien-co2-paastojen-lahde-teollisuuden-jatteista-voidaan>

Shao Yu Lin. 2011. War Shelters Inspired by Nature. Research University of Hawai'i. Viitattu 30.3.2025. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/handle/10125/45734>

Suomen standardit. N.d. Mitä standardi tarkoittaa? Viitattu 21.2.2025. <https://sfs.fi/>

Tietoa puusta ja tuotteista. 2022. Puutuoteteollisuus. Julkaistu 4.3.2022. Viitattu 19.2.2025. <https://puutuoteteollisuus.fi/tietoa-puusta-ja-tuotteista/puun-terveys-ja-hyvinvointivaikutukset>

Tilapäisen väestönsuojan kunnostamisopas. 1997. Suomen pelastusalan keskusjärjestö. Viitattu 22.3.2025. <https://waffenlager.net/ammo/308win.html>

Top Shot Dustin. 308 ODIN VS TREE. Video. Youtube-videopalvelu. Julkaistu 12.6.2020. Viitattu 30.3.2025. <https://www.youtube.com/watch?v=NKz2mge11Dg>

Tulevaisuutta ja muuttuvaa maailmaa kestävätkä rakentamisen ratkaisut. 2025. Tietoa yrityksestä www-sivuilla. <https://www.attoverde.com/> Viitattu 22.3.2025.

Tuoteominaisuudet. 2015. CLT-materiaalin ominaisuuksia. Suomalainen CLT:n valmistaja CrossLam Kuhmo. Julkaistu 10.3.2015. Viitattu 14.3.2025. <https://crosslam.fi/wp-content/uploads/2022/10/tuoteominaisuudet.pdf>

Viilupuu (LVL). 2020. Puuinfo Oy. Vastuullinen suomalainen puukäytön edistäjä. Julkaistu 23.6.2020. Viitattu 10.2.2025. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööri tuotteet/viilupuu-lvl/>

Väestönsuojelu on ihmisten suojaamista sotatilanteissa. N.d. Tietoisku Suomen pelastusalan keskusjärjestön www-sivuilla. Viitattu 27.4.2025. <https://www.spek.fi/turvallisuus/varautuminen-kotona/vaestonsuojelu/>

Vähähiilinen rakentaminen. Video. Ympäristöministeriö. Youtube-videopalvelu. Julkaistu 20.9.2019. Viitattu 18.2.2025. <https://www.youtube.com/watch?v=35vi55fXphi&t=172s>

Webertherm 507 lämmöneristyslaasti. 2020. Tuotekortti Weber. Julkaistu 19.2.2020. Viitattu 27.5.2025. [https://www.taloon.com/media/attachments/weber/tuotekortti\\_1004842.pdf](https://www.taloon.com/media/attachments/weber/tuotekortti_1004842.pdf)

## Liitteet

### Liite 1. Ammuntapöytäkirja

# Ammuntapöytäkirja

Paikka: Mansikkamäen ampumarata, Huittinen

Aika: 20.3.2025

Ampujat/osallistujat: Anni Lähteenmäki, Ari Ahlbom, Esa Lähteenmäki ja Aaro Lähteenmäki

Aset: Sako75 Hunter, Stag arms ar-15, Norinco 56S ja H&K SFP9

Puumateriaalit: CLT ja Liimapuu

## Tulokset:

## Liimapuu – ammutaan puun syitä vastaan

Materiaali	Patruuna	Patruunan läpäisevyys	Muuta
Liimapuu	7.62x39	145 mm	
	7.62x39	98 mm	
	7.62x39	läpi	
	7.62x39	läpi	alhaalta läpi, 166 mm kohdalta
	7.62x39	218 mm	
	7.62x39	130 mm	
	223rem	282 mm	
	223rem	253 mm	
	223rem	297 mm	
	223rem	237 mm	

	223rem	265 mm	
	9 mm	178 mm	
	9 mm	199 mm	
	308win	293 mm	
	308win	287 mm	

### Liimapuu – ammutaan puun syiden suuntaisesti

Materiaali	Patruuna	Patruunan läpäisevyys	Muuta
Liimapuu	7.62x39	78 mm	
	7.62x39	85 mm	
	223rem	201 mm	
	223rem	32 mm	
	9 mm	122 mm	
	308win	107 mm	

## CLT – ammutaan puun syiden suuntaisesti

Materiaali	Patruuna	Patruunan läpisevyys	Muuta
CLT	7.62x39	212 mm	Osu lautaan, joka on vastaisesti
	7.62x39	205 mm	
	223rem	102 mm	
	9 mm	215 mm	
	308win	240 mm	

## CLT – ammutaan puun syitä vastaan

Materiaali	Patruuna	Patruunan läpisevyys	Muuta
CLT (300 mm)	7.62x39	läpi	
	223rem	melkein läpi	Patruuna on rikkonut puun pinnan, mutta ei ole tullut läpi asti.
	9 mm	127 mm	
	9 mm	127 mm	
	9 mm	146 mm	
	308win	läpi	

Pöytäkirjan pitäjän allekirjoitus: Anni Lähteenmäki

